Waldhumusformen.

Von Prof. Dr. **Franz Hartmann**, Wien.

Mit 28 Textabbildungen.

Unter Humus versteht man die Gesamtheit der organischen Reste und Abfälle von Pflanzen und Tieren, die dem Boden einverleibt wurden und dort Umwandlungsprozessen unterworfen sind.

Diese Definition des Begriffes „Humus" deckt sich mit den bezüglichen Auffassungen namhafter Bodenkundler wie Ramann[1], Lang[2], Mitscherlich[3], Puchner[4], Hesselman[5], Waksman[6], Schucht[7], Albert[8], Stebutt[9].

[1] Ramann, E.: Bodenkunde. 3. Aufl. Berlin 1911. S. 149.
[2] Lang, R.: Verwitterung und Bodenbildung. Stuttgart 1920. S. 7.
[3] Mitscherlich, E. A.: Bodenkunde für Land- und Forstwirte. 4. Aufl. Berlin 1923. S. 235.
[4] Puchner, H.: Bodenkunde für Landwirte. Stuttgart 1923. S. 175.
[5] Hesselman, H.: Studien über die Humusdecke des Nadelwaldes. Meddelanden fran Statens Skogsförökanstalt. 1926. S. 156 f.
[6] Waksman, I. A.: Principles of soil Mikrobiology. Baltimore 1927. S. 669 ff.
[7] Schucht, F.: Grundzüge der Bodenkunde. Berlin 1930. S. 57.
[8] Albert, R.: Die Bezeichnung der Humusformen des Waldbodens. Forstarchiv 1929. S. 103—106.
[9] Stebutt, A.: Lehrbuch der allgemeinen Bodenkunde. Berlin 1930. S. 144.

Wenn man also von der organisch-chemischen Betrachtungsweise über den Inhalt des Ausdruckes Humus absieht, so kann man die vorstehende Begriffsumschreibung als im bodenkundlichen Sinne übereinstimmend ansehen.

Die von Hesselman[10] als Förna bezeichneten „unveränderten toten Überreste oder Abfallprodukte des Pflanzen- oder Tierreiches", also die im allgemeinen als Waldstreu zusammengefaßten Substanzen, werden von Vater[11] in die Humusauflage einbezogen.

Andere Forscher wie Albert[12], Lang[13], Ebermayer[14], Hesselman[15], stellen sich gegen die Einbeziehung der Förna in den Begriff Humus. Nach Lang ist die Grenze von der Förna „zum Humus dann erreicht, wenn wenigstens ein gewisser erster mechanischer Zerfall der Förna, eine gewisse gegenseitige Verflechtung durch Pilzhyphen oder Pflanzenwurzeln und zugleich eine gewisse gleichbleibende Lagerungsdichte und zumeist eine gewisse stärkere Dunkelfärbung eingetreten ist und damit eine erkennbare gleichmäßig bleibende Oberfläche sich gebildet hat".

Die Förna ist also noch kein Humus. Die Auffassung, daß die Förna noch auf der Bodenoberfläche aufliegt und damit selbst nicht zum Bodenprofil zu rechnen ist[16], geht aber zweifelsohne zu weit. Die Waldstreu ist als oberste tote Bodendecke ein äußerst wichtiger Faktor für die Bodenbildung, für die Gestaltung des Bodenzustandes, sowie für den ökologischen Wert des gesamten Waldbodens und im besonderen für die Keimbettgestaltung bei der Verjüngung des Waldes. Die Streu ist die natürliche Decke für die auf und in den Boden gelangenden Samen bzw. Früchte unserer Forstgewächse. Aber auch vom Standpunkte der Bodenbildung und Bodenprofilausformung kommt der Förna eine nicht minder wichtige und in gewissem Sinne wesensgleiche Rolle zu, wie den bodenbildenden Ausgangsgesteinen. Sind die Gesteine bodenbildendes Ausgangsmaterial von unten her, so ist die Förna ein solches von oben her. Im gleichen Sinne, wie es selbstverständlich ist, daß man das bodenbildende Ausgangsgestein in das Bodenprofil einbezieht und allgemein als den C-Horizont des Bodenprofiles bezeichnet, so ist auch die Förna zum Waldbodenprofil zu rechnen und hier als oberster Horizont auszuscheiden. Die Streu ist ein so wichtiger Bestandteil des Waldbodens, daß für die forstliche Bodenkunde eine Ausschaltung der Förna aus dem Waldbodenprofil praktisch undenkbar scheint. —

Eine unvergleichlich größere Meinungsverschiedenheit besteht betreffend die Bezeichnung, Umgrenzung und Einordnung der Humusformen, die in neuerer Zeit auch als Humusarten und Waldhumusarten[17] bezeichnet werden. Die Auffassungen gehen hier so weit auseinander, daß Erdmann[18] mit voller Berechtigung von einer verwirrenden Fülle von Ausdrücken spricht, unter denen jeder etwas anderes zu verstehen scheint. An dieser Tatsache hat sich bis zum heutigen Tage nichts geändert!

So spricht P. E. Müller[19] in seiner klassischen Abhandlung über die natürlichen Humusformen vom neutralen Humus oder Mull und vom sauren Humus oder Torf. Müller faßt also den sogenannten Rohhumus

[10] a. a. O.
[11] Vater, H.: Beiträge zur Kenntnis der Humusauflage von Fichte und Kiefer. Mitt. aus der Sächsischen Forstl. Versuchsanst. 1929. S. 131—133. [12] a. a. O.
[13] Lang, R.: Der Humus als Ganzes. Forstw. Centralbl. 1932. Heft 12.
[14] Ebermayer: Lehre der Waldstreu. Berlin 1876.
[15] a. a. O. [16] Lang, R.: Der Humus als Ganzes. S. 394.
[17] Russel, J.: Boden und Pflanze. Zweite Aufl. 1936. S. 366.
[18] Erdmann, F.: Die Humusformen des Waldbodens. Forstarchiv 1926. S. 81—89.
[19] Müller, P. E.: Studien über die natürlichen Humusformen. Berlin: Springer 1887.

als Torf zusammen. Mull umfaßt die locker gelagerten, gekrümelten, überwiegend durch Tiere bearbeiteten Ablagerungen der Böden. Hierbei unterscheidet Müller zwischen Regenwurmmull und Insektenmull. Der erstere ist reich an anorganischen Stoffen, der letztere enthält fast keine minerogenen Substanzen.

Ramann[20] unterscheidet:

1. Mull, d. i. der gekrümelte, humose, mit Mineralteilen gleichmäßig durchsetzte Boden, — reich an Tierkot und Bakterien —, ohne freie Säuren oder arm an solchen, — Vorherrschen der Verwesung und Tätigkeit durch die Tierwelt,
   a) Würmermull, reich an Mineralteilen, vorherrschend Regenwurmkot,
   b) Insektenmull, arm an Mineralteilen, vorwiegend Insektenkot und zernagte Pflanzenteile,
   c) Schwarzerde, in aridem Gebiet, humose Stoffe zumeist chemisch ausgefällt,
   d) Alpenhumus, in kühlerem humiden Klima auf Kalk,
   e) Humusbildung nördlicher Kalkalpen (Rendzina).

2. Schlamm, das sind unter Wasser gebildete Ablagerungen, die ihre bezeichnenden Eigenschaften durch die Einwirkung des organischen Lebens erhalten, aus Gemischen von anorganischen und organischen Bestandteilen in sehr wechselnder Menge bestehen und mehr oder weniger Tierkot, chemische Ausfällungen und Reste niederer Pflanzen (Algen, Diatomeen) enthalten. Besteht die Hauptmasse aus Tierkot, dann spricht man von Gyttje.

3. Rohhumus, Verwesung verlangsamt, Bakterien und Tiere zurücktretend, viel Fadenpilze und viel freie Säuren, Reste der Pflanzenabfälle.

4. Trockentorf, das ist die weniger zersetzliche Humusform, die „bei Freistellung einer tiefergehenden Zersetzung nicht mehr fähig ist". Sie ist dicht zusammengelagert, fast torfartig. —

Im Jahre 1904 wurde in Eisenach in gemeinsamer Beratung von Forstmännern, Geologen und Botanikern zum Zwecke der Begriffsfestsetzung und Einheitlichkeit der Benennung der Humusformen in der Hauptsache folgende Vereinbarung getroffen:

Von den auf die Bodenoberfläche gelangten Abfällen wird die völlig unzersetze Lage (Streu oder Förna) und die darüber lagernde mehr oder weniger unzersetzte, lockere oder filzige Schicht als Trockentorf oder Rohhumus bezeichnet und die stark humifizierte, zerkleinerte, lose dem Mineralboden auflagernde Schicht als Moder. — Schreitet bei entsprechenden Feuchtigkeitsverhältnissen die Torfbildung über den sog. Übergangswaldtorf oder die Übergangsmoorschichte fort, so stellen sich im Walde Bleichmoostorfe oder Sphagnumtorfe ein. Bei großer Mächtigkeit des Bleichmoostorfes entstehen die Hochmoore. Die den älteren und jüngeren Moostorf trennende Schicht wird als Grenztorfschicht oder Grenzhorizont bezeichnet. — Humusbildungen, die dem Mineralboden eingelagert sind, werden als Humuserden zusammengefaßt. Man unterscheidet milde Humuserden (mit vorherrschend Kohlendioxydverwitterung) und saure Humuserden (mit scharf ausgeprägter Humussäurenverwitterung). Zu den ersteren gehören die Mullerden mit Mull als Humussubstanz und die Modererden mit Moder

[20] Ramann, E.: Bodenkunde. 1905. S. 155—162. — Derselbe: Forstliche Bodenkunde und Standortslehre. Berlin 1893. S. 232.

als Humussubstanz. Zu den sauren Humuserden werden die Moorerden, Bleicherden und Humusorterden gezählt.

Dieser in Eisenach unternommene Versuch nach Herbeiführung einer Vereinheitlichung in der Begriffsfestsetzung und Benennung der Humusformen war bekanntlich von keinem Erfolg begleitet. Selbst Ramann, der zu den Mitarbeitern in Eisenach zählte, ist bald von den dort beschlossenen Vereinbarungen abgewichen. Während in Eisenach die Bezeichnung Rohhumus und Trockentorf für ein und dieselbe Humusform angewendet wurde und man mit der Bezeichnung Moder einen neuen Begriff aufstellte, finden wir bei Ramann in seiner ein Jahr nach den Eisenacher Beratungen erschienenen Bodenkunde (2. Auflage) die Bezeichnungen Rohhumus und Trockentorf als zwei verschiedene Begriffe, während die Bezeichnung Moder fehlt.

Bühler[21] greift später wieder auf die Eisenacher Vereinbarungen zurück und unterscheidet Mull (Mullerde), Moder (Modererde), Trokkentorf oder Rohhumus und Moorhumus.

Puchner[22] spricht auch von Trockentorf (Rohhumus). Er bezieht also ebenfalls beide Bezeichnungen auf ein und dieselbe Humusform.

Hesselman[23] unterscheidet folgende Humusformen:

1. Mull — eine Humusschicht mit deutlicher Krümelstruktur, mit mineralischem Boden vermengt,
2. Mar (dänisch „Mor") — dem Rohhumus ähnlich, doch weniger fest.
3. Rahumus (Rohhumus) — feste Humusschicht, verbunden durch Hyphen, Myzelien und höhere Pflanzen.

Bei Hesselman fehlt also die Bezeichnung „Trockentorf" und wird durch die Bezeichnung „Rohhumus" ersetzt, bzw. in den Begriff „Rohhumus" einbezogen. Der Begriff „Mar" dürfte sich mit dem Begriff „Moder" mehr oder weniger decken.

Erdmann[24] unterscheidet Humus mit rascher, mit stockender und mit fehlender oder unterbrochener Verwesung. Die beiden letzten Formen faßt er als Rohhumus zusammen und gliedert diesen in Moder (bei stokkender Verwesung) und in Trockentorf (bei fehlender oder unterbrochener Verwesung). Erdmann weicht also in der Benennung dieser Humusformen neuerlich von den bis dahin aufscheinenden Auffassungen grundsätzlich ab. — Den milden, bereits durch den Tierleib gegangenen Humus bezeichnet Erdmann als Mull. — Den Bodenhumus unterteilt derselbe in Dammerde-Humus und in Ort-Humus. Die Dammerden gliedern sich in Mullerden, Modererden und Moorerden. Letztere führen torfartigen Humus.

In diesem Sinne unterscheidet Erdmann folgende Humusformen: 1. Mull, 2. Moder, 3. Trockentorf, 4. Modererde-Humus, 5. Moorerde-Humus, 6. Ackererde-Humus, 7. Schwarzerde-Humus, 8. Grauerde-(Podsol-)Humus und 9. Orthumus. Hierbei faßt Erdmann den Moder- und Trockentorf als Rohhumus und den Ackererde-Humus und Schwarzerde-Humus als Mullerdehumus zusammen.

[21] Bühler, A.: Der Waldbau. Stuttgart 1918. 1. Band, S. 297, 306—308.
[22] Puchner, H.: Bodenkunde für Landwirte. 1923. S. 88.
[23] Hesselman, H.: Studien über die Humusdecke des Nadelwaldes. Medd. f. Statens Skogsförsök 1926. S. 169—552.
[24] Erdmann, F.: Die Humusformen des Waldbodens. Forstarchiv 1926. S. 81—89.

Rückblickend finden wir also bei Erdmann für Moder, Trockentorf und Rohhumus eine neue Begriffsfestsetzung. Hier ist der Rohhumus dem Moder und Trockentorf übergeordnet. Bei Hesselman fehlt die Bezeichnung „Trockentorf". An seine Stelle tritt die Bezeichnung „Rohhumus", dem „Mar" als selbständige Humustype koordiniert ist. Bei Bühler und in der Eisenacher Vereinbarung sind Rohhumus und Trockentorf ein Begriff und endlich bei Ramann sind Rohhumus und Trockentorf zwei nebengeordnete Begriffe!

In der Folge wird von Vater[25] vermutlich erstmalig die Bezeichnung „Auflagetorf" an Stelle der Bezeichnung „Trockentorf" verwendet. Vater meint hierbei die durch Vernässung herbeigeführte „torfähnliche unterste Stufe". Albert[26] schlägt vor, an Stelle des Ausdruckes „Trockentorf", um die irrtümliche Auffassung zu vermeiden, daß Trockentorf nur durch Trockenheit entsteht, den Ausdruck „Auflagetorf" zu wählen. Nach Albert ist Auflagetorf der mehr oder weniger verfestigte Auflagehumus, der torfartigen Charakter angenommen hat und so in zusammenhängenden Stücken herausgebrochen werden kann.

Albert unterscheidet Auflagehumus und Bodenhumus. Der Auflagehumus wird weiter unterteilt: 1. in Moder oder Feinhumus (äußerlich einheitlich, makroskopisch strukturlos, locker, erdartig) und 2. in Grobhumus (makroskopische Pflanzenstruktur leicht erkennbar, aber auch mehr oder weniger mit Moder durchsetzt). Ist letzterer locker und faserig, so schlägt Albert die Bezeichnung „Rohhumus" vor. Ist Moder oder Grobhumus, bzw. ein Gemisch beider mehr oder weniger zäh verfestigt und torfartig, so spricht der genannte Forscher vom Auflagetorf. Moder und Rohhumus kann sowohl als neutraler (milder) als auch als saurer Humus vorkommen.

Den Bodenhumus unterteilt Albert in Mull und Bodenmoder. Hierbei sieht Albert im Mull eine Ausfällung, welche die Mineralkörner in Form dünner Häutchen umgibt. Diese Definition ist wohl abweichend von der allgemein herrschenden Auffassung und entspricht nicht der Tatsache, denn nicht jeder Mullboden zeigt Häutchenbildungen. — Albert spricht weiter von Mull- und Modererden, sowie vom Bodenmoder der Bleicherde, der dem torfartigen Grauerde (Podsol)-Humus bei Erdmann gleichzuhalten ist. —

Dengler[27] schließt sich in seinem waldbaulichen Standartwerk bei der Bezeichnung und Umschreibung der Humusformen vollkommen an Albert an.

Schucht[28] faßt alle unter ungünstigen Bedingungen für die Kleinlebewesen entstehenden sauren Humusanreicherungen als Rohhumus zusammen und spricht neuerdings vom Trockentorf als der schlechteren Form des Rohhumus. Hier ist also der Rohhumus dem Trockentorf übergeordnet und die Bezeichnung Auflagetorf wieder fallengelassen worden.

Stebutt[29] spricht im gleichen Jahre vom Torf und Rohhumus. Hier sind beide Bezeichnungen wieder koordiniert angewendet.

[25] Vater, H.: Beiträge zur Kenntnis der Humusauflage von Fichte und Kiefer. Mitt. aus der Sächsischen Forstl. Versuchsanstalt. 1929. S. 131—133.
[26] Albert, R.: Die Bezeichnung der Humusformen des Waldbodens. Forstarchiv 1929. S. 103—106.
[27] Dengler, A.: Waldbau auf ökologischer Grundlage. 1935. S. 165.
[28] Schucht, F.: Grundzüge der Bodenkunde. 1930.
[29] Stebutt, A.: Lehrbuch der allgemeinen Bodenkunde. 1930. S. 149.

Im folgenden Jahre haben die Amerikaner Romell und Heiberg[30] folgende Klassifizierung eingeführt, die sowohl auf ökologischer als auch auf physikalischer Grundlage aufgebaut ist:
Zunächst werden die zwei Humusformen: 1. Mull und 2. „duff" unterschieden, wobei letztere dem Begriff Rohhumus etwa entspricht.

Der Mull wird weiter unterteilt in:
a) Krümelmull (Crumb mull) — grobkörniger Mull,
b) körniger Mull (Grain mull) — feinkörniger Mull, Abwesenheit großer Regenwürmer,
c) Zwillingsmull (Twin mull) — bestehend zuoberst aus Detritusmull (feinstkörnigem Mull) oder Wurzelduff (Feinmoder), darunter folgt körniger oder manchmal auch Krümelmull
d) Detritusmull — feinkörniger Mull, reich an organischer Substanz. —

Der „Duff' wird unterteilt in:
a) Wurzelduff (root duff) — schwach ausgebildeter F-Horizont, — H-Horizont besteht aus feinzerteilten lockerem Moder,
b) Laubduff (leaf duff) — F-Horizont besteht aus mattenförmiger Lage von Laubstreu, — H-Horizont ähnlich wie beim Wurzelduff,
c) Schmieriger Duff (greasy duff) — F-Schicht wenig ausgebildet, häufig faserig, — H-Horizont mächtiger, kompakt, teilweise oder ganz schwarz, kohlig, schmierig, beim Trocknen stark schrumpfend,
d) Faseriger Duff (fibrous duff). — F-Horizont gut ausgebildet, — die H-Schicht faserig, mehr oder weniger zäh, doch nicht kompakt.

Von der weitgehenden Unterteilung des Mulls abgesehen, fällt bei dieser Klassifizierung auf, daß hier auch der feinzerteilte lockere Moder, wie bei P. E. Müller, in den Begriff „Rohhumus", d. h. in den gleichbedeutenden Begriff „Duff", einbezogen ist und daß weiters die Bezeichnungen Auflagetorf und Trockentorf überhaupt nicht aufscheinen. Alle Humusformen, die nicht zum Mull gehören, werden als „Duff", also in unserem Sinn als „Rohhumus" zusammengefaßt und dann lediglich nach ihrem physikalischen Zustand in Unterklassen unterteilt. —

Lang[31] verwendet erstmalig die Bezeichnung „Trockentorf" für eine torfartige Rohhumusform, die bei relativer Trockenheit und Kalkmangel entsteht. Es ist eine Humusform, die vor allem von Schimmelpilzen und Aktinomyceten umgearbeitet wird und auf den trockenen, nährstoffarmen Sandböden Norddeutschlands anzutreffen ist. Der Begriff „Trockentorf" bei Lang ist also von der bisher üblichen Begriffsumgrenzung für Trockentorf, bzw. Auflagetorf, grundsätzlich zu unterscheiden. Lang stellt seinem „Trockentorf" den Rohhumus versumpfter, bzw. nasser Lagen, also jene Humusform, die früher auch als Trockentorf und neuerdings als Auflagetorf bezeichnet wird, als besondere Humusform gegenüber. Eine Tat, die als sehr glücklich bezeichnet werden muß. —

Bornebusch und Heiberg[32] schlagen, in Anlehnung an das

[30] Romell u. Heiberg: Ecology 12, S. 567—608 (1931).
[31] Lang, R.: Forstliche Standortslehre. 1926. S. 342. — Derselbe: Der Humus als Ganzes. Forstw. Centralbl. 1932. Heft 12.
[32] Bornebusch, C. H. u. S. O. Heiberg: Vorschlag für die Benennung der Waldhumusdecke. Verh. 3. internat. bodenkdl. Kongreß Oxford 1935, 3, 260 (1936).

System von R o m e l l und H e i b e r g , vor, nur zwischen M u l l (Mischung organischer Substanz mit Mineralboden in krümeliger oder kompakter Struktur) und M o r (organische Masse praktisch ohne eingemischten Boden, gewöhnlich mehr oder weniger verfilzt oder verfestigt) zu unterscheiden. Auf rein morphologischer Grundlage wird die Humusform „Mor" weiter unterteilt in „körnig", „schmierig" und „faserig". —

Auch R u s s e l l[33] unterteilt die „Humusarten" und „Waldhumusarten" in zwei Gruppen und zwar in den „s a u r e n H u m u s" oder „R o h h u m u s" und in den „n e u t r a l e n H u m u s" oder „M u l l". Hierbei gibt R u s s e l l selbst zu, daß der Ausdruck „neutraler Humus" etwas unglücklich gewählt ist, denn der M u l l hat meist eine deutlich saure Reaktion von Ph 4,5—6,5. — Weiters befindet sich R u s s e l l im Irrtum, wenn er behauptet, daß man in Deutschland beim R o h h u m u s den „T o r f" und den „A u f l a g e h u m u s" unterscheidet. Man hat, wie aus den bisherigen Aufzählungen ersichtlich ist, lediglich den „T o r f" (gemeint ist damit der Auflagetorf bzw. Trockentorf) dem „R o h h u m u s" nebengeordnet oder untergeordnet, in keinem Fall aber dem „A u f l a g e h u m u s" gegenübergestellt. Das Gegenstück zum A u f l a g e h u m u s ist der B o d e n h u m u s. Hierbei versteht L e i n i n g e n[34] unter A u f l a g e h u m u s die Gesamtheit der auf dem Boden lagernden Humusformen und unter B o d e n h u m u s die im Bodenraum befindlichen humusartigen organischen Stoffe.

Im übrigen bestätigt auch R u s s e l l die Verworrenheit auf diesem Gebiete mit folgenden Worten: „Trotz allem herrscht eine große Unsicherheit bezüglich der Nomenklatur und Klassifikation der Humusarten (gemeint sind damit die Humusformen). Mehr und mehr wurde eingesehen, daß die abschließende Klassifikation in erster Linie auf ö k o l o g i s c h e r Grundlage vorgenommen werden muß".

In neuerer Zeit hat schließlich L a a t s c h[35] die Humusformen unterteilt in A u f l a g e h u m u s und B o d e n h u m u s. Beim A u f l a g e h u m u s wird weiter unterschieden zwischen M o d e r, R o h h u m u s und A u f l a g e t o r f. Hier sind also die Begriffe M o d e r, R o h h u m u s und A u f l a g e t o r f nebengeordnet. — Auflagehumus bildet sich im Walde durch Zersetzungshemmungen. Ist dieser Auflagehumus von lockerem Gefüge und besitzt derselbe einen größeren Gehalt an feinzerteilten Humusstoffen, so bezeichnet ihn L a a t s c h als M o d e r. Hat der Auflagehumus infolge stärkerer Zersetzungshemmungen eine faserige Beschaffenheit, so spricht der genannte Forscher vom R o h h u m u s. Stärkere, dicht verfilzte Rohhumusdecken von torfiger Struktur ergeben den A u f l a g e t o r f. —

L a a t s c h hat auch den Namen „D a u e r h u m u s" eingeführt, der den im Boden a b g e l a g e r t e n echten Humusstoffen gleichkommt. —

Dieser kurze Überblick über die im Schrifttum aufscheinenden hauptsächlichen Versuche, ein allgemein brauchbares System in die Bezeichnung, Umgrenzung und Einordnung der Humusformen zu bringen, zeigt demnach, wie recht E r d m a n n und R u s s e l l haben, wenn sie von einer verwirrenden Fülle von Ausdrücken, bzw. von einer großen Unsicherheit bezüglich der Nomenklatur und Klassifikation der Humusformen (Humusarten) sprechen. D a s W e s e n t l i c h e a n d i e s e r T a t s a c h e i s t a b e r i h r e

[33] R u s s e l l, J.: Boden und Pflanze. Zweite Auflage 1936. S. 366.
[34] R u b n e r, K.: Die pflanzengeographischen Grundlagen des Waldbaus. 1934. S. 182.
[35] L a a t s c h, W.: Dynamik der deutschen Acker- und Waldböden. 1938. S. 72—73.

Auswirkung auf die forstliche Praxis! Hier sagt Altmeister Erdmann mit Recht, daß der praktische Wirtschafter, der sich von der Wissenschaft Rat holen will und sich mit seinen Mitarbeitern rasch und klar verständigen muß, mit der hier in der Wissenschaft auftretenden Verworrenheit nichts anzufangen weiß. Nun ist es aber eine der vornehmsten Pflichten für die Wissenschaft, der Praxis zu dienen. Welcher Mangel der Praxis in bezug auf eine klare Auseinanderhaltung und Charakteristik der hauptsächlichen Humusformen entgegentritt, habe ich in meiner Jahrzehnte langen praktischen Tätigkeit, namentlich auf dem Gebiete der Naturverjüngungstechnik in der Forstwirtschaft, genugsam erfahren. Ich kann hier die Behauptung vertreten, daß dem technischen Fortschritt in der Naturverjüngungspraxis gerade durch diese Verworrenheit in der Humusfrage und im besonderen durch die ungenügende Kenntnis und unzureichende Auseinanderhaltung der ökologischen Eigenart und Wertigkeit der einzelnen Humusformen und Humustypen im weitgehenden Maße eine Grenze gesetzt wurde. Wenn die bodenkundliche Forschung irgendwie der forstlichen Praxis dienen soll, dann wäre vor allem hier der Hebel anzusetzen. —

Weil es sich beim Wirtschaftswalde um eine so weitgehend naturnahe Bodenkulturform handelt, wie bei keiner anderen Bodenkulturart, hätte die forstliche Bodenforschung und Bodenlehre gerade hier die sich ergebenden Naturgesetzlichkeiten besonders herauszustellen. Auf dieser Grundlage wäre die Bezeichnung, Umgrenzung und systematische Einordnung der Humusformen vorzunehmen. Werden hierbei die naturgesetzlichen Voraussetzungen für die Humusbildung und die ökologische Eigenart der einzelnen Humusformen als die hauptsächlichen Einteilungsgründe herangezogen, so ergibt sich daraus zwangsläufig ein allgemein brauchbares System in der Nomenklatur und Klassifikation des Humus unserer Wälder. Hierbei ist es zweckmäßig, nach Möglichkeit auf jene Bezeichnungen zurückzugreifen, die im Schrifttum bereits Eingang gefunden haben und die den vorgenannten Einteilungsgründen am besten entsprechen.

Von diesem Gesichtspunkte aus will der folgende Vorschlag für eine allgemein brauchbare Bezeichnung, Umgrenzung und systematische Einordnung der Humusformen betrachtet sein. —

In diesem Sinne verstehen wir unter Humus die Gesamtheit der organischen Reste und Abfälle von Pflanzen und Tieren, die dem Boden einverleibt wurden und dort Umwandlungsprozessen unterworfen sind.

Förna sind die unveränderten toten Überreste und Abfallprodukte des Pflanzen- und Tierreiches.

Die Grenze von der Förna (Waldstreu) zum Humus ist dann erreicht, wenn wenigstens ein gewisser erster mechanischer Zerfall der Förna, eine gewisse gegenseitige Verflechtung durch Pilzhyphen, Rhizoiden oder Pflanzenwurzeln und zugleich eine gewisse gleichbleibende Lagerungsdichte bei zumeist stärkerer Dunkelfärbung eingetreten ist und damit eine erkennbar gleichmäßig bleibende Oberfläche sich gebildet hat.

Die Förna ist also noch kein Humus, gehört aber zum Waldbodenprofil. Die naturgesetzlichen Voraussetzungen für die Humusbildung ergeben sich aus dem Zusammenwirken der klimatischen, edaphischen und biologischen Standortsfaktoren. Diese bestimmen die physikalische, chemische, morphologische und biologische Eigenart des Humus und damit den Humuscharakter des Standortes. Im Humuscharakter drückt

sich wieder vor allem die ökologische Eigenart und damit der wirtschaftliche Wert des Humus aus. —

Die Naturgesetzlichkeit der Voraussetzungen für die Humusbildung gibt jedem Standort eine naturbedingt-charakteristische Humusformation. Diese ist ein wesentlicher Standortsfaktor, mit dem jede Bodenkulturform rechnen muß, die mit einer größeren Umtriebszeit arbeitet, also im besonderen die Forstwirtschaft! Hierbei ist die Humusformation ein äußerst wichtiger Rahmen für den biologischen Nährstoffumlauf. Und dieser ist wieder der wertvollste Maßstab für die nachhaltige Produktivität eines Waldbodens. Daraus ergibt sich weiter, daß die Kenntnis der Eigenart der Humusformation eines Standortes zu den fundamentalsten Voraussetzungen für eine wissenschaftlich gelenkte Waldbautechnik zählt.

Von diesen Gesichtspunkten geleitet und in möglichster Anlehnung an die bisherige Einstellung der Wissenschaft zur Humusfrage lassen sich die Humusformen (Humusarten) folgend unterteilen:

I. Mull.

Unter Mull verstehen wir die feinst bis grob gekrümelte, im Tierleib verarbeitete und geformte, mit Bakterien angereicherte, als Kot (Losung) ausgeschiedene Mischung von amorphem Humus mit minerogenem Feinboden.

Im allgemeinen kann man den Mull nach der Größe der Krümel, bzw. Kotteilchen unterteilen in Feinmull (nach P. E. Müller und Ramann als Insektenmull bezeichnet) und in Krümelmull (P. E. Müller und Ramann sprechen hier vom Regenwurmmull bzw. Würmermull, Romell und Heiberg bezeichnen diese Humusform bereits als Krümelmull).

Der Feinmull ist vorwiegend aus dem Kot von Arthropoden (Gliederfüßer), wie Insekten, Milben, Asseln usw., also durchwegs von Kleintieren des Bodens, hervorgegangen. Weil diese Kleintiere nur verhältnismäßig geringe Mengen minerogener Substanz aufnehmen und aufzunehmen imstande sind, so ist der Feinmull verhältnismäßig tonarm und enthält nur feinstes minerogenes Bodenskelett. Der geringen Größe der Kotteilchen entsprechend, erhält der Feinboden im trockenen Zustande eine mehr pulvrige bis staubige Struktur. Grebe[36] spricht von Staubhumus.

Der Krümelmull setzt sich hingegen vornehmlich aus Regenwurmkot zusammen. Hierbei ist die Größe der Krümel von der Größe der bodenfressenden Tiere bestimmt. Da sich die größeren Würmer im allgemeinen nur in klimatisch günstigen (frischen) und tiefgründigen Böden, sowie bei guter und reichlicher Kost (artenreiche und nährstoffreiche Förna) entwickeln können, so ist der Krümelmull im allgemeinen auf pruduktiveren Standorten anzutreffen als der Feinmull. Der grobkrümelige Mull ist der Mull der besten Standortsbonitäten.

Die reichliche Aufnahme mineralischer Bodensubstanz durch Regenwürmer bringt es mit sich, daß der Krümelmull verhältnismäßig reich an Tonsubstanz und mineralischem Bodenskelett ist. Das Glühpräparat gibt hier sehr gut Auskunft. — Weil die Würmer häufig in tieferen Bodenzonen als Nahrung aufgenommenes Bodenmaterial nach oben bringen und umgekehrt und den durch ihren Körper gehenden Boden dann als Kot an ortsfremder Stelle zurücklassen, also Kotteilchen verschiedenen Ursprungs und daher verschiedener Zusammensetzung nebeneinander lagern, so ergibt sich daraus

[36] Grebe: Bodenkunde. 1883.

eine mosaikartige Bodenmischung im Mullhorizont, worauf Kubiena[37] sehr schön hingewiesen hat. Abb. 6 zeigt an einem Bodendünnschliff einer steppenartigen Rendzina im Mikrodurchlichtbild zwei voneinander gut abgegrenzte Wurmlosungspakete verschiedener Zusammensetzung. Hier ist auch die innige Mischung von amorphem (strukturlosem) Humus mit minerogenem Feinboden beim Mull ersichtlich. Besonders deutlich kommt dies im polarisierten Licht zum Ausdruck (Abb. 7). Die Wurmlosungsformen sind im Auflicht-Mikrobild sehr schön zu sehen (Abb. 1 u. 5).

Es ist weiters bekannt, daß Wurmlosungen mit Bakterien besonders angereichert sind und demnach ein wichtiges Ausgangsmaterial für die mikrobielle Bodentätigkeit darstellen[38].

Krümelmull ist daher bester Humus. Er ist vornehmlich der Mull der Standorte mit optimumnahem bis optimalem Bodenklima, während Feinmull dort gebildet wird, wo für Regenwürmer die Existenzmöglichkeit wegen Trockenheit, Nahrungsmangel, fehlendem frostfreien Winterquartier usw. nicht gegeben ist, bzw. nicht im notwendigen Maße vorhanden ist.

Wir werden daher dem Feinmull im besonderen auf trockenen und seichten Böden begegnen. Besonders charakteristisch ist der Feinmull bei extrem-trockenen, seichten Humuskarbonatböden ausgebildet. Kubiena[39] bezeichnet diese Humuskarbonat-Feinmullböden als Protorendzina (Urfleinserde), welcher er die Mullrendzina als Humuskarbonat-Krümelmull gegenüberstellt. Im Walde kommen Feinmullböden im allgemeinen selten vor. Hierbei handelt es sich durchwegs um forstlich minderwertige Standortsbonitäten. —

In allen Fällen bildet sich Mull nur dann, wenn die Förna in ihrer Masse eine willkommene Nahrung für die Bodenfauna, bei Krümelmull vor allem für die Regenwürmer, abgibt. —

Nach dem minerogenen Einfluß auf die Mullbildung kann man folgende, ökologisch weit auseinandergehende, daher wirtschaftlich wohl getrennt zu behandelnde Subtypen unterscheiden: kalkreichen Mull oder Kalkmull, salzreichen Mull oder Salzmull, milden Mull und sauren Mull.

1. Kalkreicher Mull oder Kalkmull.

Die hauptsächlichen bedingenden Voraussetzungen für die Bildung dieser Mullform sind: Bodentrockenklima, — Absättigungskomplexe (im besonderen Kalk) im Überschuß vorhanden, daher vornehmlich kalkbedingt gehemmter Humusabbau bei an sich lebhaftem Verwesungsfortgang, — biogene Säurebildung überwiegt Säureabbau, — Anhäufung abgesättigter echter Humusstoffe, vor allem von Huminsäuren bzw. von Humaten, — gehemmte Tonbildung, — enge Bindung zwischen organogenen und minerogenen Kolloiden, — große Beständigkeit der Losungsformen, — geringer bis stark zurücktretender Verlagerungseinfluß des Sickerwassers im Oberboden, — fehlender oder stark zurücktretender Einfluß von Oberflächen-, Stau- und Grundwasser im Obergrund.

[37] Kubiena, W.: Beiträge zur Bodenentwicklungslehre. Bodenkunde und Pflanzenernährung 29. (74.) Bd. S. 108—119.

[38] Lang, R.: Echte und unechte Krümelung und Gare. Forstw. Zentralbl., 53. Jg., Heft 9—11. — Ramann, E.: Anzahl und Bedeutung der niederen Organismen in Wald- und Moorböden. Z. f. Forst- u. Jagdw. 1899. — Heymons, R.: Der Einfluß der Regenwürmer auf Beschaffenheit und Ertragsfähigkeit des Bodens. Z. f. Pflanzenernährung und Düngung 1923. S. 97 ff.

[39] a. a. O.

Hier sind im besonderen zu nennen:

a) Humuskarbonat-Mull, Rendzina oder Fleinserde.

Klima: humid bis semiarid mit Bodentrockenklima, man kann deshalb hier je nach dem Charakter des Standortsklimas eine humide und eine steppenartige Mullform unterscheiden.

Untergrund: Kalkstein, dolomitischer Kalk, Dolomit, Kreide, kalkreicher Mergel.

Vegetation: bei der humiden Form vorwiegend Nadelwald mit xerophylem Einschlag, bei der steppenartigen Form der xerophyle Laubbuschwald (Steppenwald) mit steppenverwandter Bodenflora.

Charakteristik: schwach saurer bis alkalischer Reaktionsbereich, — starke bis vollständige Absättigung des weitgehend zersetzten Humus, — enge Bindung des amorphen Humus mit minerogenem Feinboden (im Durchlichtmikrobild besonders deutlich sichtbar, Abb. 6 u. 7), bei Krümelmull, mosaikartig wechselnde Zusammensetzung der Regenwurmkotteilchen (Abb. 6) — große Beständigkeit der Losungsformen (Abb. 5), — bei Feinmull eine rauhpulverige und bei Krümelmull eine körnige Bodenstruktur, die eine verhältnismäßig lockere Lagerung des Mulls bedingt, daher empfindlich gegen Bodenerosion, — im allgemeinen eine dunkelbraune bis braunschwarze Farbe des Mulls, von dem sich die weniger zersetzten, ligninreichen Rottesubstanzen durch ihre mehr rostbraune Farbe deutlich abheben, — Fadenpilze fehlen oder sie treten nur sporadisch auf, wobei sie sich vornehmlich an Rottesubstanzen ansiedeln, — solche noch wenig zersetzte organische Substanzen sind dem Mull im oberen Teil seines Horizontes mehr oder weniger stark beigemischt, wobei sie stets außerhalb der Losungsformen gelagert sind, — die Glühprobe zeigt bedeutende Gewichts- und Volumsverluste (Humusreichtum) bei guter Beständigkeit der Losungsformen, die sich dann aus eisenreicher Tonsubstanz und eng beigemischten, glasklaren Quarzkörnchen und unbehüllten Kalk- bzw. Dolomitkörnchen und Splitterchen zusammensetzen, — im allgemeinen geringe bis mäßige Mächtigkeit des Mullhorizontes, — bei besonders ausgeprägtem Bodentrockenklima stark gehemmter Humusabbau und stark gehemmte Tonbildung, daher Mullhorizont unmittelbar auf dem Ausgangsgestein aufliegend, — auf Standorten mit weniger extremem Bodenklima geht der Rendzinahorizont infolge regeren Humusabbaus und lebhafterer Tonbildung bei der humiden Form in die insubrische Roterde (Terra rossa) oder in die insubrische Kalksteinbraunerde (Terra fusca), bzw. bei der steppenartigen Form in die steppenartige Rotbraunerde oder in die steppenartige Kalksteinbraunerde über, die dann auf dem karbonatischen Ausgangsgestein aufliegen.

b) Kalkreicher Schwarzerde*-Mull.

Klima: steppenartig (semiarid bis semihumid).

Untergrund: vornehmlich Löß, dann kalkreicher Geschiebelehm und Mergelstein.

Vegetation: Steppenbuschwald mit betont xerophyler Pflanzengesellschaft.

Charakteristik: bis hoher $CaCO_3$-Gehalt in feinster Verteilung innerhalb der Bodenkrümeln (mikrochemisch mittels Salzsäure sehr gut nachweisbar), — vielfach gut ausgeprägter, hochanstehender Kalkhorizont (Anreicherungshorizont) mit reichlicher, schaumartiger Ausblühung von Calzit-

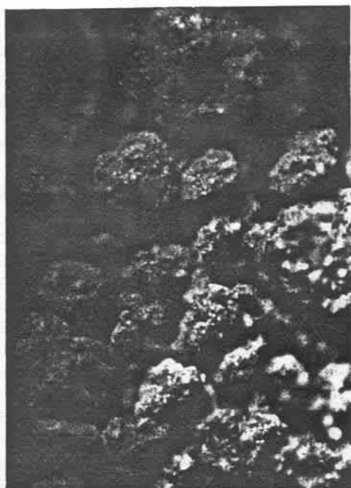


Abb. 1. Milder tonreicher Mull: vornehmlich aus Regenwurmkot bestehend, mit gut erhaltenen Losungsformen, — Fadenpilze fast keine vorhanden. (Mikroauflichtbild.)



Abb. 2. Grobmoder: Die noch wenig zersetzte tote organische Substanz ist von Fadenpilzen reich umsponnen. (Mikroauflichtbild.)



Abb. 3. Feinmoder: Bei bereits vorgeschrittener koprogener Zerteilung und Aufbereitung der toten organischen Substanz in Feinhumus, merkliches Zurücktreten der Fadenpilze. (Mikroauflichtbild).



Abb. 4. Auflagenaßtorf: bei äußerster Fadenpilzarmut und reichlicherem Auftreten von Protozoenzysten torfartig zusammengebackener Grobhumus. (Mikroauflichtbild.)



Abb. 5. Humuskarbonatmull (Rendzina) im Mikroauflichtbild: vorwiegend gut erhaltene Regenwurmlosungen mit zwischengelagerten Kalksteinteilchen, — Fadenpilze fehlen.



Abb. 6. Humuskarbonatmull (Rendzina) als Dünnschliff im Mikrodurchlichtbild: zwei benachbarte, verschieden zusammengesetzte Wurmlosungen (mosaikartige Bodenmischung), bestehend aus einer engen Mischung von amorphem Humus mit minerogenem Feinboden.

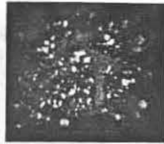


Abb. 7. Humuskarbonatmull (Rendzina) als Dünnschliff im polarisierten Licht: Die Bodenkrümel zeigen eine reichliche Beimischung von hellaufleuchtenden Mineralsplitterchen und Mineralkörnchen als Mikroskelett.



Abb. 8. Kalkreicher Schwarzerdemull (Kalkhorizont) im Mikroauflichtbild: Durchreichliche, schaumartige Ausblühung von Calzit-Mikrokristallen, welche die Mikrohohlräume weitgehend ausfüllen, Bildung eines mörtelartg. Elementargefüges

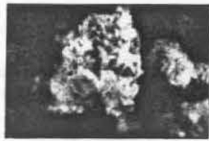


Abb. 9. Kalkreicher Schwarzerdemull: Wurmlosungen im Mikroauflichtbild mit schaumartigem Belag von Calzitkristallen.

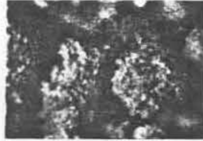


Abb. 10. Salzreicher Mull (Sodamull) im Mikroauflichtbild: Wurmlosungen aus dem Salzanreicherungshorizont mit drusenartigem Sodabelag.



Abb. 11. Salzreicher Mull (Sodamull) als Dünnschliff im Mikrodurchlichtbild: bei gut erhaltenen Losungsformen ist reichliches minerogenes Mikroskelett in einer verhältnismäßig humusarmen, amorphen Grundsubstanz (Bodenplasma) eingebettet.

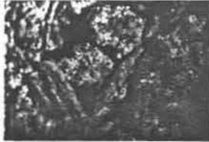


Abb. 12. Mullartiger Moder im Mikroauflichtbild: neben noch wenig zersetzter organischer Substanz, die ihre morpholog. Struktur noch gut erhalten hat, befinden sich in lockerer Lagerung sowohl Regenwurmlosungen als auch Kotreste von anderen Kleintieren.



Abb. 13. Mullartiger Moder als Dünnschliff im Mikrodurchlichtbild: in lockerer Lagerung finden sich Wurmlosungen, morphologisch noch gut erhaltene Pflanzenreste, die reichl. Fraßstellen von Kleintieren aufweisen, u. Kotteilchen von solchen Bodenkleintieren

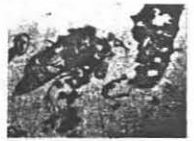


Abb. 14. Grobmoder als Dünnschliff im Mikrodurchlichtbild: locker gelagerte, morphologisch noch gut erhaltene Pflanzenreste mit Fraßstellen v. Milben mit eingeschlossenen Kotteilchen, — der Anteil an koprogenem Feinhumus außerhalb der Pflanzenreste ist noch gering.



Abb. 15. Alpenmoder im Mikroauflichtbild: im koprogenen Feinhumus sind noch reichlich Pflanzenreste mit mehr oder weniger gut erhaltener morphologischer Struktur zwischengelagert, — Fadenpilze stark zurücktretend.



Abb. 16. Feinmoder als Dünnschliff im Mikrodurchlichtbild: neben reichlichem, locker gelagertem, koprogenem Feinhumus ist noch tote organische Substanz mit erhaltenem Zellaufbau und eingeschlossenen Fraßstellen mit Kleintierlosung vorhanden.



Abb. 17. Milder Auflagetrockentorf im Mikroauflichtbild: Zusammenlagerung morphologisch noch gut erhaltener Pflanzenreste, an denen man fast keine Fraßspuren feststellen kann, — koprogener Feinhumus nur in Spuren örtlich vorhanden, — Fadenpilze fehlen.



Abb. 18. Milder Auflagetrockentorf als Dünnschliff im Mikrodurchlichtbild: Pflanzenreste fast unzersetzt, — im Innern derselben örtlich beginnender Milbenfraß mit eingeschlossenen frischen Kotteilchen.



Abb. 19. Saurer Auflagetrockentorf im Mikroauflichtbild: Anreicherung noch wenig zersetzter, toter organischer Substanz, — koprogener Feinhumus nur in Spuren vorhanden, — bei häufigerem Vorkommen von Protozoenzysten Fadenpilze stark zurücktretend.



Abb. 20. Saurer Auflagetrokkentorf als Dünnschliff im Mikrodurchlichtbild: die tote organische Substanz ist in ihrem morphologischen Aufbau durchwegs gut erhalten, — im Innern der Pflanzenreste örtlich beginnender Milbenfraß, — außerh. der Pflanzenreste fast kein Feinhumus.

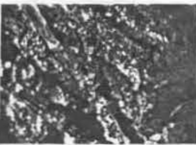


Abb. 21. Milder Auflagenaßtorf im Mikroauflichtbild: Anhäufung von unzersetzten Pflanzenresten in mergeliger Packung.



Abb. 22. Milder Auflagenaßtorf als Dünnschliff im Mikrodurchlichtbild: unzersetzte oder wenig zersetzte Pflanzenreste sind in eine humusreiche, mergelige, feingranulierte, im polarisierten Licht stark doppelbrechende Grundsubstanz eingebettet.



Abb. 23. Saurer Auflagenaßtorf (kohlig-schmierige Form) im Mikroauflichtbild: torfartig unzersetzte Pflanzenreste sind in einer Grundmasse von koprogenem Feinhum. mit reichl. beigem. nackt. Mineralkörnchen eingeschlämmt, — reichl. Vorkommen von Protozoenzysten, Pilze zurücktretend.



Abb. 24. Saurer Auflagenaßtorf (kohlig-schmierige Form) als Dünnschliff im Mikrodurchlichtbild: gut erhaltene Pflanzenreste in reichlich vorhandenem koprogenen Feinhumus eingebettet, — Quarzkörnchen und Splitterchen in größerer Menge zwischengelagert.



Abb. 25. Wald-Sphagnumtorf im Mikroauflichtbild: Torfmoosreste fast unzersetzt, — koprogener Feinhumus nur in äußersten Spuren vorhanden, — Pilzhyphen nur vereinzelt auftretend.



Abb. 26. Wald-Sphagnumtorf als Dünnschliff im Mikrodurchlichtbild: Sphagnumreste in ihrer Zellstruktur sehr gut erhalt., — Fraßstellen kaum vorhanden, — koprogener Feinhumus auf bedeutungslose Spuren beschränkt.



Abb. 27. Saure Gytte im Mikroauflichtbild: in einem Schlamm, bestehend aus Kot von Wasserkleintieren, sind reichl. glasklare Mineralkörner und unzersetzte od. wenig zersetzte organ. Subst. eingebettet, — Wurmlosungen fehlen.



Abb. 28. Saure Gyttje als Dünnschliff im Mikrodurchlichtbild: Zwischenräume der unzersetzten Pflanzenreste angefüllt mit Massen brauner, kleinzylindrischer Losung von Wassertieren.

Mikrokristallen, die bis zur Ausformung eines mörtelartigen Mikrogefüges [40] (Abb. 8 u. 9) führen, — schwachsaurer bis alkalischer Reaktionsbereich, — starke bis vollkommene Humusabsättigung, — mehr oder weniger mächtige Anhäufung von Huminsäuren, im besonderen von Grauhuminsäuren bzw. von Humaten, daher reich an widerstandsfähigem amorphen Humus [41], der mit dem minerogenen Feinboden in enger Bindung steht, — bei zunehmender Überdeckung des Kalkes mit Humaten oder mit Abnahme des Kalkvorrates im Oberboden verstärkte Bildung von Huminsäureablagerungen, die bis zur Rindenbildung und damit zur Verkittung der Oberflächen der Grundmasse (Bodenplasma) und des Bodenmikroskelettes, also zur Heranbildung des verwachsenhülligen (plektoamiktischen) Elementargefüges führen, — große Beständigkeit der knollignierigen Regenwurmlosungsformen, daher körnig-krümelige Bodenstruktur, die leichte Erodierbarkeit bedingt (Flugerdebildung), — grauschwarze bis schwarze Farbe, — fehlende bis stark zurücktretende Fadenpilzvegetation, — das Glühpräparat weist einen geringeren Gewichts- und Volumverlust auf als bei Rendzina und setzt sich aus in ihrer Form gut erhaltenen Wurmlosungsformen zusammen, die in der Hauptsache aus toniger Grundsubstanz und eingebetteten, glasklaren, unbehüllten Quarzkörnchen bzw. Splitterchen bestehen und im Kalkanreicherungshorizont schaumartige Überzüge von Calzitablagerungen aufweisen, — starkes Zurücktreten bis Fehlen von Abscheidungen freien Eisenoxydhydrates infolge gehemmter Tonbildung (starker Basenüberschuß, kolloidale humose Schutzhüllen und Wasserarmut), daher keine salzsäurelöslichen Eisenanreicherungen, — bis mächtige Ausformung des Schwarzerdehorizontes, — hochanstehender Kalkhorizont vermindert die forstliche Eignung des Schwarzerdemulls (Störung des osmotischen Gefälles erschwert die Wurzelfunktion, Behinderung der Aufnahme von Phosphorsäure, Kali und Eisen durch die Wurzeln, — Schaffung ungünstiger bodenbiologischer Verhältnisse, daher Hemmung des Nährstoffumlaufes), — besonders tiefwurzelnde Holzarten (Weißkiefer, Schwarzkiefer, Eichen, Rotbuche) versagen auf solchen Standorten, weil Tiefwurzelkomplex im Kalkhorizont abstirbt.

c) Kalkreicher Moorerde-Mull.

Klima: semiarid bis semihumid mit Bodentrockenklima.

Untergrund: trockengelegter, kalkreicher Niederungsmoorboden.

Vegetation: Laubbuschwald mit xerophylem bis xerophyl-mesophylem Einschlag.

Charakteristik: in morphologischer, biologischer und chemischer Beziehung weitgehend übereinstimmend mit dem Humuskarbonat- und Schwarzerde-Mull, jedoch salzsäurelösliche Eisenanreicherungen vorhanden, — bis ansehnlicher $CaCO_3$-Gehalt, — schwach saurer bis alkalischer Reaktionsbereich, — weitgehende bis vollkommene Humusabsättigung, — schwarzbraune bis schwarze Farbe, — Glühpräparat zeigt mäßigen Gewichts- und Volumsverlust bei großer Beständigkeit der Losungsformen, die in der tonigen Grundsubstanz reichlich Kalkmikroskelett enthalten, — außerhalb der Losungsformen vielfach Kalkkörnchen vorhanden, — Rindenbildung ist auch hier, wie bei der Schwarzerde möglich, — im allgemeinen mächtige Ausformung

[40] Kubiena, W.: Über das Elementargefüge des Bodens. Bodenkundliche Forschungen, Bd. IV (1935), Nr. 4.

[41] Springer, U.: Bodenkunde u. Pflanzenernährung 3, 139 (1937). — Laatsch, W.: Dynamik der deutschen Acker- und Waldböden. 1938. S. 160.

des Mullhorizontes, — infolge lockerer Lagerung und großer Beständigkeit der Losungsformen Flugerde bildend.

d) Kalreicher brauner Mull.

Klima: semiarid bis semihumid mit ausgeprägtem Bodentrockenklima.

Untergrund: kalkreich und tonhaltig, im besonderen Löß und Mergel, auch Muschelkalk.

Vegetation: Laubbuschwald mit betont xerophyler Pflanzengesellschaft.

Charakteristik: wenig produktiv, daher geringe Förnazufuhr und keine stärkere Humusanhäufung, — arider Klimacharakter erhält den Kalkreichtum im Oberboden, — alkalischer Reaktionsbereich, — vollständige Humusabsättigung, — körnige Bodenstruktur, oft scharfkantige, polyederähnliche Aggregate bildend, — unbehülltes Bodenskelett in tonreicher Grundsubstanz eingebettet und vornehmlich porphyropektisch[42] gefügt, — im Glühpräparat Losungsformen sehr gut erhalten bei geringem Gewichts- und Volumsverlust, — im Trümmerpräparat auf dem Mikroskelett nur wenig krümelige Belagstücke, — starkes Zurücktreten bis Fehlen von Fadenpilzen, — nach unten rasch zunehmende, starke Hemmung in der Tonbildung, daher nur verhältnismäßig gering mächtiger Verbraunungshorizont.

2. Salzreicher Mull oder Salzmull[43] (Alkalimull).

Klima: Steppenklima bis steppenähnliches Klima.

Untergrund: salzreich, vor allem erhebliche Mengen an Natriumkarbonat (Soda) enthaltend.

Vegetation: Steppenflora, in weniger extremen Fällen Steppenbuschwald (Ulmus glabra, Quercus robur, Pinus pinaster, Tamarix gallica, Acer tataricus, Morus alba, Sambucus, Craategus, Evonymus u. a.) mit betont xerophyler Pflanzengesellschaft, bei tiefer anstehendem Salzhorizont auch Kultur von Ailanthus glandulosa, Robinie, Pinus nigra und von Populus canadensis und Populus nigra möglich.

Charakteristik: Gehalt an erheblichen Salzmengen, vor allem an Natriumkarbonat (Soda), bei reichlicher Ausblühung von Sodakristalldrusen und örtlich auch von Kristallnadeln, Bildung von schneeweißen Bodenüberzügen und von Ablagerungen an den Bodenkrümeln (Aggregaten) und in den Bodenhohlräumen (Abb. 10), — in weniger extremen Fällen Bildung eines mehr oder weniger hoch anstehenden Salzhorizontes, wobei sich die drusenartige Sodaanreicherung von der charakteristisch schaumartigen Kalkanreicherung der Kalkschwarzerde im Mikroauflichtbilde leicht unterscheiden läßt, — alkalischer Reaktionsbereich, der namentlich unter Wald bei tiefer liegendem Salzhorizont (also in frischeren Lagen) nach oben bis zu P_H-Werten von 6 bis etwa 5,5 herabsinken kann, — weitgehende Zersetzung des Humus, der zum Teil als ein Bestandteil der amorphen Bodenmasse dem Boden die charakteristische graue Farbe gibt (Abb. 11) und zum Teil als Sol mit schutzkolloidaler Wirkung (Sodasolverwitterung) auftritt, — daher örtliche Anreicherungen von peptisiert gewesenem Eisenoxydhydrat, die besonders am Glühpräparat im Mikroauflichtbild deutlich sichtbar sind, während der übrige Boden des Mullhorizontes eher eisenarm erscheint, — der Humusgehalt der Bodenkrümel kann verhältnismäßig gering sein, wie schon der Bodendünn-

[42] Kubiena, W.: a. a. O.

[43] Lang (Forstliche Standortslehre, S. 349) spricht von Salzhumus.

schliff (Abb. 11) bestätigt und wie aus dem verhältnismäßig geringen Glühverlust dieser Böden hervorgeht ,— der an Quarzkörnchen und sonstigen Mineralkörnchen und Splitterchen oft reiche Feinboden ist im allgemeinen intertextisch gefügt, es ist also das überwiegend film- und häutchenfreie Mikroskelett des Bodens reichlich mit krümeliger Plasmasubstanz belegt und durch diese zu Aggregaten gefügt, — die Form der Mullteilchen ist oft gut erhalten (Abb. 10), obgleich Soda eine Quellung der Tonkolloide bewirkt und so den Boden schleimig und wenig durchlässig macht, — Fadenpilze fehlen oder sie treten stark zurück, — oft reichliches Auftreten von Actinomyceten, — die Mikroflora weist eine ganz eigene und spezifische Zusammensetzung auf [44], — bis vollständiger Mangel an N-bindenden Mikroorganismen, — nitrifizierende und ammonifizierende Organismen in genügender Anzahl vertreten, — denitrifizierende Bakterien in der Regel reichlich vorhanden, — geringer Stickstoffgehalt, besonders arm an Nitratstickstoff, — Waldhumus verringert die alkalische Reaktion, wodurch die physiologische Beschaffenheit des Alkalibodens allmählich verbessert wird (Senkung des Salzhorizontes), — im extremen Falle, also bei hochanstehendem Salzhorizont und im besonderen bei stark bindigen Böden, für die Entwicklung von Wald ungeeignet, — mit zunehmender Tiefe des Salzhorizontes steigt die forstliche Bonität zusehends, weil Wurzelausbreitung, bzw. physiologische Tiefenwirkung von der Lage des Salzhorizontes in ähnlicher Weise bestimmt wird, wie beim Kalkschwarzerdeboden von der Lage des Kalkhorizontes, — frische Lagen und damit vermehrter Humusumsatz führen im Wege der Sodasolverwitterung zur Ausbleichung im Oberboden bei Bildung der sodahaltigen Grauerde, in welchem Falle dann die örtlichen Eisenanreicherungen im Mullhorizont fehlen oder stark zurücktreten, — für die Aufforstung werden empfohlen: Ulmus glabra, Ulmus levis, Fraxinus americana und excelsior, Quercus robur, Populus alba und virginiana, Acer negundo, Tamarix tetranda und odessana, Sophora japonica, Elaeagnus angustifolia.

3. Milder Mull.

Die hauptsächlichen Voraussetzungen für seine Bildung sind: Die e d a p h i s c h e n F a k t o r e n Ton- und Basengehalt bzw. Kalkgehalt des Bodens, die b i o l o g i s c h e n F a k t o r e n Streumenge, Basengehalt und Verwesungswiderstand der Förna (Streu) und deren Eignung als Nahrung für die Bodenfauna, vor allem für Regenwürmer, sowie das B o d e n k l i m a müssen im komplexen Zusammenwirken die Voraussetzung für eine möglichst günstige, optimale bis optimumnahe Entwicklung der b o d e n b i o l o g i s c h e n V e r h ä l t n i s s e ergeben. Hierbei halten sich Streuzufuhr und Streuzersetzung, Humusbildung und Humusabbau, biogene Säurebildung und Säureabbau bei genügender Säureabsättigung in einem labilen Gleichgewicht.

Zur Erhaltung dieses Gleichgewichtes können sich die Voraussetzungen für Mullbildung in bestimmten Grenzen ergänzen. So kann Basenarmut des Bodens durch Basenreichtum der Streu [45] und durch günstigeres Bodenklima mit erhöhter Bodentätigkeit und damit durch vermehrten und lebhafteren Basenumlauf ausgeglichen werden. Bei Basenarmut der Streu wird ein besonders günstiges Bodenklima durch beschleunigten Basenumlauf den not-

[44] F e h é r u. B o k o r: Untersuchungen über einige wichtige biologischen Eigenschaften der solonecartigen Alkaliböden (Szikböden) der Hortobágyer-Steppe mit Rücksicht auf ihre Fruchtbarmachung. Mathemat. u. naturw. Ber. aus Ungarn. Bd. XXXVIII, 1931.

[45] H e u e l l: Bestandesabfallzersetzung. Mitt. f. Forstwirtsch. u. Forstwiss. — S ü c h t i n g, H.: Die Humusfrage in der Forstwirtschaft. — Neudamm 1928. S. 7.

wendigen Ausgleich bringen. Bodenfeuchtklima verlangt im Gegensatz zum Bodentrockenklima vor allem einen verhältnismäßig größeren Kalkgehalt des Bodens usw. —

Im allgemeinen können hier folgende Regeln gelten: Tonreiche, also bindige Böden benötigen im vorliegenden Falle eine hohe Basensättigung [46], vielfach auch noch $CaCO_3$ im Oberboden. Fehlen diese Voraussetzungen, dann verhindert die Dichtlagerung des Bodens im Wege extremer Gestaltung des Bodenklimas (Trockenheit oder Vernässung, Sauerstoffmangel) die Mullbildung. — Bei Böden mittlerer Bindigkeit genügen für die Mullbildung im allgemeinen ein hoher Basenumlauf und ein optimales bis optimumnahes Bodenklima im Oberboden bzw. Obergrund trotz Fehlens oder starken Zurücktretens von $CaCO_3$. — Leichte Böden verlangen hier einen großen Basenumlauf, der vornehmlich auf physiologischer Tiefgründigkeit (Tiefwurzelkomplex und lebhafte Bodentätigkeit) und basenreichem Untergrund bzw. Unterboden beruht. —

Im Rahmen dieses komplexen Zusammenwirkens der vorgenannten klimatischen, edaphischen und biotischen Voraussetzungen für die Bildung von mildem Mull ergibt sich bei den einzelnen Komponenten im allgemeinen folgende Variationsbreite:

Klima: optimales bis optimumnahes Bodenklima im semihumiden bis extremhumiden Klimabereich, — stark gedrosselter Verlagerungseinfluß des Sickerwassers bei Vorherrschen mechanischer Auswirkung, — auf Kapillarwirkung mehr oder weniger beschränkter Stau- und Grundwassereinfluß, — fehlender bis mäßiger Oberflächenwassereinfluß.

Boden: Untergrund karbonatisch oder silikatisch, basisch bis sauer, autochthon oder allochthon. —

Vegetation: Laubwald (vornehmlich als Mischwald) oder Laub-Nadelmischwald, auf basenreichen Standorten auch Nadelwald mit möglichst tiefreichender und intensiver Wurzelbildung, aschenreicher, den Regenwürmern genehmer Streu, standörtlich günstiger biotischer Wirkung auf das Bodenklima, kräuterreicher, vornehmlich mesophyler Bodenflora mit vielfach azidiphylem Einschlag. —

Charakteristik: bei reifen milden Mullböden $CaCO_3$-Gehalt ausgewaschen, Reaktion schwach bis mäßig sauer, — bei unreifen milden Mullböden, die aus kalkhaltigem Ausgangsgestein bzw. Boden hervorgegangen sind, häufig noch Reste von $CaCO_3$ vorhanden, Reaktion schwach sauer bis schwach alkalisch, — gute Basenwirkung, — fortschreitende Bildung und Ablagerung organogener (kolloidaler Humusstoffe) und minerogener (Tonkolloide) Absorptionsträger bei zur Humusbildung im Gleichgewicht stehendem Humusabbau, daher niedrigerem Gehalt an echten Humusstoffen (Huminsäuren) [47] als beim kalkreichen Mull, — fortschreitender Tonaufbau aus primären Silikaten bzw. fortschreitende Tonumformung aus kalkreichen Sedimenten bei zunehmender Verbraunung des Bodens (gleichmäßige Ablagerung von ockergelbem, rötlich- oder sepiabraunem Eisenoxydhydrat, das bei der Verwitterung der primären Silikate bzw. bei der Umformung der Tone kalkreicher Sedimente am Orte seiner Abspaltung oder in nur geringster Entfernung von diesem niedergeschlagen wird), — Absättigungskomplexe ausreichend bis im mäßigen Überschuß vorhanden, es fehlt daher Verlagerung peptisierter Substanz auf längere Strecken, — etwa im Solzustande noch vorhandene Humussäuren (Huminsäuren) werden rasch abgesättigt, so daß Eisen, falls es überhaupt

[46] Laatsch, W.: a. a. O., S. 199—205.
[47] Laatsch, W.: a. a. O., S. 192.

beweglich wird, nur kürzeste Strecken wandert, vorausgesetzt, daß es nicht mechanisch ausgeschlemmt wird, — optimale Bodentätigkeit verursacht durch eine zahlreiche und artenreiche Bodenflora und Bodenfauna, — lebhafter Verwesungsfortgang, daher rasche Überführung der Förna (Streu) in Mull, — lebhafte Bakterientätigkeit bei in der Regel stärkerem Zurücktreten der Fadenpilze, die nur bei Vorhandensein von Rottesubstanz stärker in Erscheinung treten, — optimale Regenwurmtätigkeit, — intensiver und tiefgreifender Verlagerungseinfluß durch Lebewesen, — Bildung von überwiegend bis ausschließlich Krümelmull (Abb. 1) mit mosaikartig wechselnder Zusammensetzung, — außerhalb der Regenwurmkotteilchen namentlich in der obersten Mullzone noch Splitterchen von Rottesubstanz (organische Substanz, der ihre ursprüngliche morphologische Struktur noch mehr oder weniger erhalten blieb) vorhanden, — die Beständigkeit der Bodenkrümel beruht vornehmlich auf dem Lebendverbau durch Mikroorganismen (Bakterien, Algen, Pilze), — einer Dichtlagerung des Bodens durch mechanische Verschlemmung wirkt der ansehnliche mikrobielle Abbau organischer Substanz, vor allem der Huminsäuren, und die wühlende, grabende und durchfressende Tätigkeit der Bodenfauna entgegen (dynamische Krümelstruktur), — im Mikroauflichtbild zeigt das Elementargefüge (Mikrogefüge) des Bodens bei gut abgesättigtem Mull, vor allem bei noch kalkhaltigen Böden, film- und hüllenfreie Mineralkörner (Mikroskelett), die entweder durch humose, krümelige Plasmabrücken (aus feinst disperser Substanz bestehend) miteinander verbunden oder in eine hohlraumreiche Grundsubstanz eingelagert sind (intertextisches Gefüge), — bei stärkerer Anhäufung feinster Humusteilchen in Form von Splitterchen, Blättchen oder Körnchen und bei lebhafterer mechanischer Einschlemmung von Eisen- und Tonteilchen erscheinen die im Auflichtmikroskop lebhaft reflektierenden Mineralkörnchen in eine mehr lückenlose, tonig-humose Grundmasse eingebettet (porphyropektisches Gefüge), — mit abnehmender Absättigung der Huminsäuren treten Reste von Huminsäuresolen auf, die an sich nicht sauer genug sind, um eine Tonzersetzung durch Hydrolyse verursachen zu können, also keinen Tonzerfall mit Podsolierung auslösen, die aber durch schutzkolloidale Wirkung kleine Tonteilchen oder freies Eisenoxydhydrat mobilisieren [48] und meist schon nach kürzesten Transportstrecken auf vorspringenden Drusen oder an geschützten Stellen des Bodengefüges entweder durch Eintrocknung oder durch Absättigung zur Ablagerung bringen (Entwicklung des Elementargefüges in der Richtung zum verwachsenhülligen oder plektoamiktischen Gefüge), — im Mikrotrümmerpräparat zeigen die Mikroskeletteilchen (Mineralkörnchen) bei intertextisch und porphyropektisch gefügten Mullböden krümelige Absätze von Bodenplasma (feindisperser Bodensubstanz) mehr oder weniger angelagert, bei Mullböden mit Neigung zum plektoamiktischen Gefüge bereits teilweise Film- und Häutchenbildungen, die auf die Gegenwart peptisiert gewesener Substanz hindeuten (hier liegt dann bereits eine Übergangsform zum mullartigen Modertyp [49] vor), — im Mikroglühpräparat treten diese charakteristischen Bodenplasmaablagerungen besonders klar in Erscheinung, während die Eisen- und Tonablagerungen sonst häufig von den echten Humusstoffen überdeckt sind, — der Bodendünnschliff zeigt namentlich im polarisierten Licht die weitgehende Mischung organogener und minerogener Feinerde-

[48] Laatsch, W.: a. a. O., S. 204.

[49] Hartmann, F.: Die Waldbodenprofiltypen von Wien und Niederdonau, ihre systematische Einordnung und regionale Verbreitung. Sonderdruck der Gruppe Niederdonau-Wien des Deutschen Forstvereines, 1942.

substanz innerhalb der Losungsformen, — die Verbraunung des mineralischen Bodens und die intensive Durchdringung desselben mit feinen und feinsten Humusteilchen geben dem Mullhorizont eine braune Tönung, die mit zunehmendem Humusgehalt eine dunkelbraune bis schwarzbraune Farbe annimmt, — Sättigungsgrad des Humus vom mäßig ungesättigten Zustand bei den schwach angesäuerten Mullformen ansteigend bis zur vollkommenen Sättigung bei den neutralen bis schwach alkalischen Formen, — geringe bis große Mächtigkeit des Mullhorizontes steht in direkter Abhängigkeit zur physiologischen Tiefgründigkeit des Standortes, — tiefgreifende und intensive Durchwurzelung des Bodens begünstigen die Mullbildung in oft ausschlaggebendem Maße, — auf basenarmen Standorten ist der sich hier ergebende biotische Einfluß der Waldvegetation direkt bestimmend, ob Mull erhalten bzw. gebildet wird oder nicht, — milder Mull ist fruchtbarster Waldboden. —

Nach der Bodentype, aus welcher sich diese Mullform mitaufbaut, kann man weiters in der Hauptsache unterscheiden: beim braunen Waldboden den milden braunen Waldbodenmull, bei der mehr oder weniger entkalkten, verbraunten oder in Verbraunung begriffenen Schwarzerde den milden Schwarzerdemull, bei der verbraunten oder in Verbraunung begriffenen Rendzina den milden Rendzinamull, bei der verbraunten oder in Verbraunung begriffenen Moorerde den milden Moorerdemull, bei der insubrischen Roterde (terra rossa) den milden Roterdemull, bei der insubrischen Braunerde (terra fusca) den milden Braunerdemull, bei der steppenartigen Rotbraunerde den milden steppenartigen Rotbraunerdemull, bei der steppenartigen Kalksteinbraunerde den milden steppenartigen Braunerdemull, beim Rotlehm den milden Rotlehmmull, beim Braunlehm den milden Braunlehmmull usw.

Bei allen diesen Unterformen handelt es sich um Mullformen, deren Eigenart in der Hauptsache mit der vorbeschriebenen Charakteristik des milden tonreichen Mulls übereinstimmt. Man kann sie daher vom waldbautechnischen Gesichtspunkte einheitlich behandeln.

4. Saurer Mull.

Der saure Mull bildet sich bei Mangel an basischen Humusabsättigungskomplexen im Mullhorizont und bei Gegenwart einer Förna, die von den Bodentieren gern als Nahrung angenommen und so im Tierleib rasch zu Mull verarbeitet wird.

Hierbei bildet sich bei fortschreitendem Humusabbau und Tonzerfall durch Humussolangriff mit Podsolierung der saure podsolige bzw. podsolierte Mull.

Findet bei fortschreitendem Humusabbau und Tonzerfall keine Podsolierung statt, weil hierfür die notwendige Durchwaschung des Oberbodens infolge Bodentrockenklima fehlt, so entsteht der saure rotbraune (eisenschüssige) Mull.

Auf Standorten mit klimabedingter Drosselung des Humusabbaus und mit entsprechender Anhäufung koprogener Humussubstanz kommt es zur Bildung des humusreichen sauren Mulls. Weil man dieser Mullform häufig in den Alpen begegnet, wird dieselbe auch als Alpenmull angesprochen. Ramann[50] bezeichnet diese Humusform als Alpenhumus und

[50] Ramann, E.: Bodenkunde. 1905. S. 155—162.
[51] Leiningen, W.: Humusablagerungen in den Kalkalpen. Naturw. Z. f. F. u. L. 1908/09. — Derselbe: Humusablagerungen in den Zentralalpen. Ebenda 1912.

zählt denselben bereits zum Mull. Als Ort seiner Bildung gibt Ramann die kühleren humiden Klimagebiete des Kalkgebirges an. Leiningen[51] bestätigt das Vorkommen von Alpenhumus auch auf silikatischem Gestein. Nach Tschermak[52] und Leiningen ist die Bildung dieser Humusform vornehmlich klimabedingt. Die letztgenannten Forscher unterschieden aber noch nicht zwischen Alpenmull und Alpenmoder. Alpenmull ist die durch den Tierleib gegangene, in ihm verarbeitete und geformte Mischung von amorphem Humus mit minerogenem Feinboden, wobei der Anteil des Humus verhältnismäßig groß ist. Alpenmoder setzt sich hingegen vornehmlich aus mehr oder weniger feinzerteilter Rottesubstanz zusammen. Beide Humusformen sind typische Gebirgsformen.

Die wichtigsten Voraussetzungen für die Bildung von Alpenmull sind:

Klima: kühl-humides Klima der Außenlandschaften höherer Gebirge mit verhältnismäßig kurzer Vegetationszeit, innerhalb welcher sich das Bodenklima im Oberboden möglichst optimal gestaltet.

Bodenuntergrund: Grundgestein karbonatisch oder silikatisch, basisch oder sauer.

Vegetation: vornehmlich Gebirgs-Nadel-Laubmischwald mit basenreicher, leicht verweslicher Streu und mit kräuterreicher, mesophyler bis hygrophyler Pflanzengesellschaft. —

Charakteristik: $CaCO_3$ fehlt oder ist stark zurücktretend, — oft bedeutende Mengen von Humuskalkverbindungen vorhanden[53], — Absättigungskomplexe bei häufig abgeschwächter Basenwirkung trotz an sich hohen Basenumlaufes nicht immer ganz ausreichend, — mäßig bis schwach saure Reaktion, — optimales bis optimumnahes Bodenklima und basenreiche Mischstreu bedingen eine lebhafte und tiefgreifende Bodentätigkeit einer arten- und zahlreichen Bodenflora und Bodenfauna, im besonderen von Bakterien und Regenwürmern, Fadenpilze mehr sporadisch, in Feuchtlagen bereits reichliches Auftreten von Protozoenzysten, — rasche Zersetzung der Förna bei Bildung weitgehend aufbereiteter Humusmassen, — vornehmlich klimabedingt gehemmter Humusabbau (verhältnismäßig kurze Vegetationszeit), — biogene Säurebildung überwiegt Säureabbau, — Losungsformen gut erhalten, — verhältnismäßig geringe Mengen eisenhaltiger Tonsubstanz (Glühprobe zeigt großen Glühverlust), mit reichlich Humus eng vermengt, bilden eine krümelige, locker gefügte Grundsubstanz als Bodenplasma, in welches nur geringe Mengen vorwiegend kleinster, nackter Mineralsplitter eingelagert sind, — diesen Losungsformen sind Rottesubstanzen mit noch vielfach gut erhaltener morphologischer Struktur in mehr oder weniger geringem Maße zwischengelagert, — die mosaikartige Bodenmischung im Mullhorizont wird sowohl im Mikroauflichtbild als auch im Durchlicht als Dünnschliff, im besonderen bei gekreuzten Nicols, deutlich sichtbar, — Farbe des Mulls ist dunkel- bis schwarzbraun, — derselbe fühlt sich weichpulverig bis weichkrümelig an und kann mit unbewaffnetem Auge vom Alpenfeinmoder kaum auseinander gehalten werden, während sich diese beiden, oft benachbart auftretenden Gebirgshumusformen als Dünnschliff im Mikrodurchlichtbild leicht unterscheiden lassen, — Alpenmull ist fruchtbarster Waldboden, — sein Horizont erreicht oft eine Mächtigkeit von über 1 m.

---

[52] Tschermak, L.: Alpenhumus. Cbl. f. d. ges. Forstw. 1921.

[53] Graf zu Leiningen-Westerburg: a. a. O. —

II. Moder.

Wie aus der kurzen, einleitenden Übersicht über die bisher im Schrifttum aufscheinende Begriffsumgrenzung und Benennung der Humusformen hervorgeht, bestehen auch betreffend diese Humusform die verschiedentlichsten Auffassungen.

So bezeichnet Ramann den Moder als Rohhumus und charakterisiert ihn folgend: Verwesung verlangsamt, Bakterien und Tiere zurücktretend, viel Fadenpilze und viel freie Säuren, Reste der Pflanzenabfälle.

Hierzu ist zu bemerken, daß bei Moder, bzw. bei Ramanns Rohhumus, keineswegs ein Zurücktreten der Fauna zutrifft. Nach Bornebusch[54] nimmt die Gesamtzahl der zur Klein-Fauna zu zählenden Tiere vom Eichenmullboden mit rund 3000 Tieren zum schlimmsten Fichtenauflagetorf mit bis zu 20 000 Tieren je 1 m² Fläche zu.

Erdmann spricht von Moderhumus als einem Humus mit stockender Verwesung.

Bei der Humuskonferenz in Eisenach wird die stark humifizierte, zerkleinerte, lose dem Mineralboden aufliegende Schicht als Moder bezeichnet.

Albert unterscheidet den Moder oder Feinhumus (äußerlich einheitlich, makroskopisch strukturlos, locker, erdartig) und den Grobhumus (makroskopische Pflanzenstruktur leicht erkennbar, aber auch mehr oder weniger mit Moder durchsetzt).

Laatsch spricht bei Moder von einem Auflagehumus von lockerem Gefüge, der einen größeren Gehalt an feinzerteilten Humusstoffen besitzt.

Während Ramann den Moder im allgemeinen sehr gut charakterisiert, scheint mir bei Albert die Unterteilung in Feinhumus und Grobhumus besonders glücklich. Wenn wir hier statt der Bezeichnung „Humus" die nähere Bezeichnung „Moder" setzen, also von Feinmoder und Grobmoder sprechen, so ist nach unserer Auffassung die Frage der Benennung dieser Humusformen am einfachsten, klarsten und verständlichsten gelöst.

Hierbei verstehen wir unter Moder im allgemeinen die im Zustande des fortschreitenden biogenen Zerfalles befindliche, zum großen Teil noch ihre Zellstruktur aufweisende, locker gefügte bis durch Pilzhyphen mehr oder weniger stark verfilzte, tote organische Substanz (Rottesubstanz). Liegt dieselbe auf dem Mineralboden, bzw. auf dem Grundgestein auf, dann bezeichnen wir den Moder als Auflagemoder. Wird der minerogene Oberboden von solchen moderartigen Rottesubstanzen mehr oder weniger durchsetzt, so sprechen wir von Modererden. Die humosen Bestandteile dieser Modererden kann man als Bodenmoder benennen. Bodenmoder ist tätiger Humus, wobei die Verwesung gehemmt sein kann. Neben seinem ernährungsphysiologischen Wert als tätige Humusform und seiner Bedeutung als Ausgangsmaterial für Humussäurebildung, kommt dem Bodenmoder auch eine wichtige Rolle bei der Strukturgestaltung des Bodens zu. Der Bodenmoder ist ein wichtiger Teil des Bodenskeletts und weiters von ausschlaggebender Bedeutung für die Entwicklung des Edaphons und damit für den Lebendverbau des Bodens. Der Bodenmoder ist ein wichtiger Ausgangspunkt des Bodenlebens und damit eine wesentliche Voraussetzung für die Bildung und Erhaltung einer Krümelstruktur in Moderwaldböden. Der Bodenmoder ist wohl zu unterscheiden vom untätigen, torfartigen bzw. kohlig-torfartigen Bodenhumus der Auflagetorfwaldböden. —

[54] Bornebusch, C. H.: Tierleben der Waldböden. Forstw. Centralbl. 1932.

Die wichtigsten Voraussetzungen für Moderbildung sind:

Klima: semihumides bis extrem humides Klima mit mehr oder weniger starker Neigung zu bodenklimatischen Extremen im Auflagehumushorizont.

Boden: karbonatisch oder silikatisch, basisch bis sauer, autochthon oder allochthon.

Vegetation: vorherrschend Nadelwald oder Nadelwald mit Laubholzbeimischung, unter reinem Laubwald in der Regel nur bei verfehlter, standortswidriger Holzartenwahl, — Bodenflora bis stark azidiphyl, auf Standorten mit Neigung zum Bodentrockenklima mehr xerophyl, auf Standorten mit Neigung zum Bodenfeuchtklima mehr hygrophyl, mit verschiedentlichster Zusammensetzung vom Oxalis- bzw. Homogynetyp, Vaccinium-Moostyp bis zum Cladonia- bzw. Sphagnumtyp und deren Übergangstypen, sowie der Rhododendren- und Erica-Moostypen.

Charakteristik: Moderbildung ist dem Einfluß des mineralischen Oberbodens bzw. des Grundgesteines im allgemeinen mehr oder weniger stark entzogen (Auswirkung eines geringen bis mäßigen Verlagerungseinflusses durch Bodentiere), — Moder bildet sich, wenn für Regenwürmer die bodenklimatischen Voraussetzungen fehlen (Bodenfrische, frostfreies Winterquartier) oder wenn die Streu den Würmern als Nahrung nicht oder wenig genehm ist, oder wenn örtlich ein Übermaß an Streu zusammengetragen ist, die im gleichen Maße von den Würmern nicht aufgezehrt werden kann und wenn für die übrige Bodenfauna günstige Lebensbedingungen herrschen, — $CaCO_3$ fehlt oder ist in verschwindendem Maße vorhanden und dann durch Film- und Häutchenbildungen in der Regel weitgehend isoliert, — mittlerer bis mäßiger Kationengehalt, — Absättigungskomplexe im mäßigen bis stärkeren Maße unzureichend und in der Hauptsache im biogenen Nährstoffumlauf einbezogen, — mäßige bis geringe Humusabsättigung, — große Abhängigkeit des Absättigungsgrades vom Umfang des Nährstoffumlaufes (Basengehalt der Streu), — bis stark saurer Reaktionsbereich, — gemäßigt fortschreitender bis stark gehemmter Verwesungsfortgang und Humusabbau, — biogene Säurebildung im Übergewicht zum Säureabbau, — Moder ist Ausgangsmaterial für eine lebhafte Humussäuresynthese, daher bei Gegenwart von genügend Lösungswasser unter Moder verstärkter Humussäureangriff auf die minerogene Substanz des Waldbodens, — mit zunehmender Entwicklung des Moders in der Richtung zum Auflagetorf starkes Ansteigen der Gesamtzahl an Bodenkleintieren [55], — im besonderen an Arthropoden, bei gleichzeitiger Abnahme bis vollständiger Ausschaltung der Würmer, — Tausendfüßler, Springschwänze, Asseln, Milben, Ameisen und Fliegenlarven nehmen an der Zersetzung des Moders besonderen Anteil, — neben den Arthropoden kommt den Fadenpilzen (Abb. 2) und im besonderen den Mykorrhizapilzen [56] größte bodenbiologische Bedeutung zu, während die Bakterien mehr in den Hintergrund treten [57], — Tongehalt gegenüber jenem bei Mull gering (großer Glühverlust),

[55] Bornebusch, C. H.: Tierleben der Waldböden. Forstw. Centralbl. 1932.

[56] Melin, E.: Bedeutung der Baummykorrhiza. Jena 1925.

[57] Süchting, H.: a. a. O. — Stoklasa, J.: Neue Ansichten über die Humusbildung im Waldboden. Centralbl. f. d. ges. Forstw., 56. Jg., H. 5/6. — Priehäusser, G.: Fichte und Tanne auf reinem Humusboden. Forstw. Zentralbl., 53. Jg., H. 24. — Lang, R.: Echte und unechte Krümelung und Gare. Forstw. Zentralbl., 53. Jg., H. 9/11. — Aaltonen, V. T.: Über den Aziditätsgrad (Ph) des Waldbodens. Communicationes ex instituto quaestionum forestalium Finlandia editae. 9. Helsinki 1925. — Falck, R.: Humusbildung und Humuszersetzung im Waldboden. Forstarchiv 1930. — Fehér, D., Untersuchungen über die Mikrobiologie des Waldbodens. Springer, Berlin 1933.

— etwa eingesprengtes minerogenes Bodenskelett vollkommen nackt, hüllen- und filmfrei, nur an besonders geschützten Stellen der Kornoberflächen stellenweise bescheidene Belagstücke abgesetzter, peptisiert gewesener Substanz (im Mikrotrümmerpräparat deutlich sichtbar), — Losungsreste von Kleintieren zum großen Teil gut erhalten, — bei den noch mehr oder weniger reichlich vorhandenen, in ihrem morphologischen Aufbau gut erhaltenen Pflanzenresten finden sich im Innern derselben Fraßspuren und Kotablagerungen von Kleintieren (Abb. 14 u. 16), — die ansehnliche Tätigkeit bedingt einen bedeutenden, in der Regel für Moderwaldstandorte ausschlaggebenden ernährungsphysiologischen Wert dieser Humusform, der zur Größe des Nährstoffumlaufes [58] und zum Gehalt an koprogener Humussubstanz im direkten Verhältnis steht, — bei großem Nährstoffumlauf (basenreicher Streu) entwickelt sich der Auflagemoder zu einem physiologischen Anreicherungshorizont von großer Bedeutung für die Ernährung und Verjüngung des Waldes, — Farbe des Moders hell graubraun bis schwarzbraun, bei ligninreichem Moder mit einem rötlichen Stich, — Moderhorizont bis zu großer Mächtigkeit anwachsend, — der koprogene Anteil steigt mit der Tätigkeit und mit dem Alter des Moders.

Nach dem Zersetzungsgrad können wir unterscheiden:

1. Grobmoder. Derselbe ist die tote organische Substanz im Zustande des ersten groben Zerfalles bei gehemmt-fortschreitendem Verwesungsfortgang. Die morphologische Struktur der Rottesubstanz ist zum größten Teil schon mit unbewaffnetem Auge erkennbar. Bis lebhafte Fadenpilztätigkeit führt vielfach zu einer mehr oder weniger starken Verfilzung (Abb. 2) und damit zu einem torfähnlichen Aussehen des Moders. Der koprogene Anteil ist zunächst noch stark zurücktretend und im Mikroauflichtbild nur zum geringen Teil sichtbar, weil sich die frischen Fraßspuren vornehmlich im Innern der in ihren Umrissen noch gut erhaltenen Pflanzenreste befinden. Erst der Dünnschliff deckt im Mikrodurchlichtbild die ansehnliche Tätigkeit innerhalb der Grobmoderteilchen auf. Man sieht hier meist frische, noch mehr hellbraun gefärbte Kleintierlosungen an den Fraßstellen (Abb. 14). Der fortschreitende Verwesungsfortgang bei Grobmoder bedingt aber, daß bei dieser Humusform, nach unten zunehmend, jener koprogene Anteil, der sich außerhalb der morphologisch noch erhaltenen Pflanzenreste ansammelt, ein bereits ansehnliches Maß erreicht (Abb. 16), darin unterscheidet sich der Moder hauptsächlich vom Auflagetorf. Bei diesem fehlt diese Zunahme an koprogener Substanz infolge stark gehemmten bis unterbundenen Verwesungsfortganges.

Bei Zwergstrauch (Calluna, Vaccinien, Rhododendren, Ericaceaen) — Moosdecken erreicht der Grobmoder vielfach eine große Mächtigkeit in Form einer lockeren, fadenpilzreichen, vornehmlich aus Zwergstrauchabfällen, Waldstreu, abgestorbenen Gräsern, Kräutern, Moosen und Flechten zusammengesetzten Schicht.

2. Feinmoder. Derselbe ist bis feinpulverig zerteilter, locker gefügter, sich weich anfühlender, in der Regel humoligninreicher, daher rötlich braun bis dunkelbraun gefärbter Humus, der dem Alpenmull sehr ähnlich ist. Er unterscheidet sich aber von diesem durch die noch sehr zahlreich erhaltenen, vornehmlich im Mikrobilde erkennbaren Zellstrukturen und morphologischen Umrisse (Abb. 3, 15 u. 16). Hierbei zeigt der Dünnschliff im Mikrodurchlichtbild die Rotteprodukte im Innern stark ausgehöhlt durch Kleintierfraß.

[58] Bujakowsky, W.: Nährstoffversorgung. Ztschr. f. Forst- u. Jagdw., 1930.

Koprogener Feinhumus, der den Exkrementen der Kleintiere entstammt, ist bereits stark vertreten und zwischen den Rottesubstanzen locker gelagert (Abb. 16). Hingegen fehlt Wurmlosung oder sie ist nur in geringem Maße und örtlich begrenzt vorhanden. Die Fadenpilze nehmen mit der Rottesubstanz ab. Es ist daher der Feinmoder in der Regel ärmer an Fadenpilzen als der Grobmoder. Bei fortschreitendem Verwesungsfortgang geht der Feinmoder allmählich in die Modererde des Oberbodens über.

Ein besonderer Typ des Feinmoders ist der Alpenmoder[59], der gleichwie der Alpenmull als eine vornehmlich klimatisch bedingte Humusform der kühlhumiden Gebirgslagen angesehen werden kann und der ebenfalls zu oft großer Mächtigkeit anwächst (Abb. 15).

Feinmoder ist fruchtbarer Waldboden von großer waldbaulicher Bedeutung. Seine ökologische Unterschiedlichkeit zum Grobmoder berechtigt die Unterscheidung dieser beiden Moderformen aus waldbautechnischen Gründen. Zudem sind Grobmoder und Feinmoder wichtige Komponenten verschiedener Humustypen, auf welche Frage an anderer Stelle zurückgekommen wird.

Ist der Moder in stärkerem Maße von Wurmlosungen durchsetzt, dann können wir von einem mullartigen Moder sprechen, der sich als eine Übergangsform vom Moder zum Mull darstellt (Abb. 12 u. 13).

III. Auflagetorf.

Wie bereits eingangs hervorgehoben wurde, spricht Ramann hier von Trockentorf und meint damit die weniger zersetzliche Humusform, die bei Freistellung einer tiefergehenden Zersetzung nicht mehr fähig und dicht zusammengelagert, fast torfartig ist.

Nach Erdmann handelt es sich hier um eine Humusform mit fehlender oder unterbrochener Verwesung.

Albert spricht bereits vom Auflagetorf und sieht in demselben den mehr oder weniger miteinander verfestigten Auflagehumus, der torfartigen Charakter angenommen hat und so zu zusammenhängenden Stücken herausgebrochen werden kann.

Nach Laatsch ist der Auflagetorf eine stärkere dicht verfilzte Rohhumusdecke von torfiger Struktur.

Lang stellt der durch Vernässung hervorgehenden Humusform jenen torfartigen Humus gegenüber, der bei relativer Trockenheit und Kalkmangel entsteht und bezeichnet ihn als Trockentorf. —

Wenn wir uns also auch im vorliegenden Falle an die bisher im Schrifttum hauptsächlich aufscheinenden Bezeichnungen und Umschreibungen dieser Humusform möglichst ausschließen und im Sinne Lang's dem Trockentorf den Naßtorf entgegenstellen, so ergibt sich für uns folgende Bezeichnung, Umgrenzung und Einordnung dieser Humusform:

Auflagetorf ist der in sich verfilzte, zu einer stärkeren Schicht bis torfartig zusammengelagerte Auflagehumus verschiedensten Zersetzungsgrades im Zustande stark gehemmten bis teilweise unterbundenen Verwesungsfortganges und Humusabbaues. Dabei handelt es sich keineswegs um echte Torfbildungen, d. h. um pflanzenbaulich nicht mehr in Betracht kommende

[59] Graf zu Leiningen-Westerburg: Über Humusablagerungen in den Kalkalpen. Nat. Z. f. Forst- u. Landw. 1908, 1909. — Derselbe: Über Humusablagerungen im Gebiete der Zentralalpen. Ebenda 1912. — Tschermak, L.: Alpenhumus (das Gesetz seiner Bildung). Centralbl. f. d. ges. Forstw., 1921, Heft 3/4. — Wiedemann, E.: Fichtenwachstum und Humuszustand. (Weitere Untersuchungen über die Wuchsstockungen in Sachsen.) Berlin 1924. S. 50.

Bildungen, die in der sauerstoffreinen Zone der Diagenese entstehen und daher außerhalb des Wurzelraumes der Pflanzen liegen, die also unbelebt sind. In allen Auflagetorfbildungen ist im Gegenteil Leben vorhanden, wenn auch in einem beschränkten Maße und in einer den Gegebenheiten angepaßten Form.

Analog wie bei den Modererden können wir bei minerogenen Oberbodenschichten, die von torfartigen bis kohligen Substanzen mehr oder weniger durchsetzt sind, von Torferden, bzw. bei diesen humosen Bodenbestandteilen von Bodentorf sprechen. Das Hauptmerkmal des Bodentorfes ist die fehlende bzw. unterbrochene Verwesung.

Nach der hauptsächlichen Ursache für die Verwesungsstockung können wir den Auflagetorf weiter unterteilen in Auflagetrockentorf, mit vornehmlich durch Trockenheit gehemmten bzw. teilweise unterbundenem Verwesungsfortgang und Humusabbau, und in Auflagenaßtorf, mit hauptsächlich durch Wasserüberschuß und Sauerstoffmangel bis sehr stark gehemmtem bzw. unterbundenem Verwesungsfortgang und Humusabbau.

Auflagetrockentorf und Auflagenaßtorf können nach der Größe des Basenumlaufes weiter unterteilt werden in saure und milde Formen.

1. Auflagetrockentorf.

Klima: Trockenklima im Oberboden bei humidem bis extrem humidem Allgemeinklima (starke Bodentranspiration durch Sonnen- und Windwirkung, rascher Durchfluß des Sickerwassers bei durchlässigem Boden und Gestein bzw. rascher oberflächlicher Abfluß eines Großteils des Niederschlagswassers bei bindigen Böden und undurchlässigem Gestein, starke mechanische und chemische Transportkraft des Sickerwassers, fehlender bis stark zurücktretender Oberflächenwasser-, Stauwasser- und Grundwassereinfluß im Oberboden).

Boden: jeder Boden und jedes Gestein, die bei den sonstigen standörtlichen Gegebenheiten die Herausbildung eines Trockenklimas im Oberboden zulassen.

Vegetation: xerophyle Waldvegetation mit vornehmlich Lichtholzarten und einer moosarmen, Trockenheit ertragenden Zwergstrauch (Calluna, Erica) — Flechten-Gras-Vegetationsgesellschaft mit mehr oder weniger stark zurücktretender Kräuterflora, — im extremen Falle vornehmlich Flechtenvegetation, — bei sauren Auflagetrockentorfstandorten ausgesprochen azidiphyle Bodenflora.

a) Saurer Auflagetrockentorf (Heidetrockentorf).

Charakteristik: Kalk- und Salzarmut, — niedriger Kationengehalt, — geringe Basenwirkung, — Absättigungskomplexe in starkem Maße unzureichend und in der Hauptsache im biogenen Nährstoffumlauf einbezogen, — bei geringem Basenumlauf Humusabsättigung stark zurücktretend, — stark saurer Reaktionsbereich, — stark gehemmter bis teilweise unterbundener Verwesungsfortgang und Humusabbau, — biogene Säurebildung im großen Übergewicht gegenüber dem Säureabbau, — heftiger Humussolangriff in Zeiten der Bodendurchfeuchtung, daher unterbundene Tonbildung mit starkem Tonzerfall und entsprechender Auswaschung der Zerfallsprodukte, — mäßiges und örtlich begrenztes Auftreten von Fadenpilzen, häufiges Vorkommen von Schimmel- und Strahlenpilzen, sowie von Protozoenzysten, — bei fehlender oder nur sporadisch auftretender Wurmfauna und stark zurücktretender Bakterientätigkeit Ansammlung und Dichtlagerung von in der Regel bedeutenden Massen organischer Abfallsubstanz, die nur in geringem Maße örtlich Fraßspuren von Kleintieren, vor allem von Arthropoden, aufweisen

(Abb. 19 u. 20), — im Mikroauflichtbild ist dieser an sich geringe Zersetzungsgrad des Trockentorfes kaum zu sehen, erst im Dünnschliff (Abb. 20) werden die vornehmlich im Innern der Pflanzenreste auftretenden Fraßstellen der Kleintiere sichtbar, — in diesen Fraßstellen finden sich dann die an sich geringen Mengen von Kleintierlosungen in noch sehr gut erhaltenen Formen (Abb. 20), während außerhalb der Pflanzenreste, im Gegensatz zum Moder, nur äußerst wenig koprogener Humus anzutreffen ist, — in dieser torfartigen Humusmasse sind stellenweise nackte Mineralkörner, vornehmlich Quarz, eingesprengt, — die Glühprobe zeigt sehr großen Glühverlust und ergibt hauptsächlich Aschenrückstand bei äußerster Tonarmut und geringer Beimengung von nacktem Mikroskelett, — unbedeutender Verlagerungseinfluß durch Bodentiere, — die äußerst geringe Tätigkeit und das Trockenklima während eines großen Teiles der Vegetationszeit, der geringe Anteil koprogener Humusrückstände außerhalb der morphologisch noch erhaltenen Pflanzenreste, sowie die Basenarmut des Ausgangsmaterials geben dieser Humusform einen nur äußerst bescheidenen ernährungsphysiologischen Wert und innerhalb ihres Horizontes ungünstige Voraussetzungen für das Ankommen der Verjüngung des Waldes, — in an sich niederschlagsreichen Gebieten liegt der ökologische Wert des Trockentorfes in seiner Rolle als naturgesetzlich bedingte Bodenschutzdecke, die eine Einschränkung der Austrocknung des Oberbodens bewirkt, ohne die Bodendurchlüftung auf ein schädliches Maß herabzudrücken.

b) Milder Auflagetrockentorf (Kalk- bzw. Steppenheidetorf).

Charakteristik: Humusbildung steht unter dem Einfluß des Kalk- bzw. Salzreichtums des Oberbodens bzw. des Obergrundes, — in der Berührungszone mit dem Grundgestein (Oberboden) Absättigungskomplexe im ansehnlichen Maße vorhanden, daher schwach saure bis alkalische Reaktion, — bei mächtigerer Torfauflage Absättigungseinfluß des Grundgesteins nach oben stark abnehmend, daher in diesem Falle bis stark saure Reaktion, — vornehmlich durch Trockenheit stark gehemmter Verwesungsfortgang und Humusabbau, — häufiges Vorkommen von Schimmel- und Strahlenpilzen, — Fadenpilze bis stark zurücktretend, — Würmer fehlen oder sie sind nur sporadisch vertreten, — koprogener Anteil gering, — überwiegend unzersetzte oder wenig zersetzte Pflanzenreste (Abb. 17 u. 18), die im Dünnschliff stellenweise Einschlüsse von Kleintierlosung zeigen (Abb. 18), — nach unten zunehmende Verdichtung des Trockentorfes, — in der unteren Zone des Trockentorfhorizontes, die dem Oberboden unmittelbar aufliegt, zunehmende Fadenpilztätigkeit und in weniger extremen Fällen auch ein mehr oder weniger bescheidenes Auftreten von Würmern als Auswirkung günstigerer Feuchtigkeitsverhältnisse, — Glühprobe zeigt sehr großen Glühverlust, hauptsächlich Aschenrückstand bei äußerster Tonarmut und sehr wenig nacktem Mikroskelett, — geringer Verlagerungseinfluß durch Bodentiere, — infolge guter Humusabsättigung im Oberboden daselbst kein Humussolangriff, — geringe Tätigkeit und Trockenheit während eines großen Teiles der Vegetationszeit und geringer Anteil koprogener Humusrückstände außerhalb der morphologisch gut erhaltenen Pflanzenreste schränken den ernährungsphysiologischen Wert dieser Humusform stark ein, — wie beim sauren Trockentorf liegt auch hier die ökologische Bedeutung dieser Humusdecke in ihrer Schutzwirkung gegen Austrocknung des hier ernährungsphysiologisch und verjüngungstechnisch wich-

tigen Oberbodens, — an sich ist auch der milde Auflagetrockentorf ein großes Hindernis für das Ankommen der Verjüngung des Waldes. —

Saurer und milder Auflagetrockentorf stimmen also, trotz der gegensätzlichen chemischen Eigenart ihrer Unterlage, in ihrem Verwesungszustand, ihrem biologischen Charakter und in ihrem morphologischen Aufbau weitgehend überein. Daraus folgt auch die große Übereinstimmung in ökologischer Beziehung mit den sich daraus ergebenden waldbautechnischen Schlußfolgerungen.

2. Auflagenaßtorf.

Klima: bei humidem bis extrem humidem Allgemeinklima dauernde oder periodisch wiederkehrende, langanhaltende Vernässung des Oberbodens und der angrenzenden Zone des Auflagehumushorizontes durch Stauwasser, Grundwasser oder sauerstoffarmes Oberflächenwasser.

Boden: jeder Boden und jedes Gestein, die bei der gegebenen standörtlichen Eigenart eine dauernde bis langanhaltende Vernässung des Auflagehumushorizontes zulassen.

Vegetation: Allgemeincharakter der Waldvegetation betont hygrophyl, — starkes Hervortreten der Moose, — Flechten ohne Bedeutung und nur auf jene örtlichen Erhebungen der Bodenoberfläche beschränkt, die einer starken oberflächlichen Austrocknung, bei an sich geringer Streuzufuhr, ausgesetzt sind, — im allgemeinen Neigung zu üppigem Graswuchs, — saure Naßtorfstandorte vielfach reichliche azidiphyle Zwergstrauchflora (Vaccinien und Calluna) aufweisend, im extremen Falle ausgesprochene Hochmoorflora (Sphagnum-Moostyp).

a) Saurer Auflagenaßtorf (Wald-Sphagnumtorf).

Charakteristik: $CaCO_3$ fehlt oder ist nur in Spuren vorhanden, — bis äußerst niedriger Kationengehalt, — geringe bis äußerst geringe Basenwirkung, — großer bis sehr großer Mangel an Absättigungskomplexen, die in ihrer Masse im biogenen Basenumlauf einbezogen sind, — bei geringem bis sehr geringem Basenumlauf Humusabsättigung stark zurücktretend bis vollkommen unzureichend, — stark saurer bis extrem saurer Reaktionsbereich, — stark gehemmter bis sehr stark unterbundener Verwesungsfortgang und Humusabbau, — starkes bis sehr starkes Übergewicht der biogenen Säurebildung gegenüber dem Säureabbau, — starker bis sehr starker Humussolangriff, daher unterbundene Tonbildung mit starkem Tonzerfall, — die Glühprobe ergibt einen sehr großen Glühverlust und einen verschwindenden Tongehalt, — weitgehende Ausbleichung etwa beigemengter Feinerdesubstanz, — der von der Vernässung (Versumpfung) erfaßte Teil des Auflagehumushorizontes unterliegt in mehr oder weniger starkem Maße biologischen Reduktionsprozessen (Fäulnisvorgängen) unter Bildung eines dunklen bis schwarzen, kohlig-torfigen, dichtgelagerten Humus, — in diesem Falle starkes Zurücktreten sowohl koprogener Umsetzungen als auch durch Pilze und Bakterien bewirkter Verwesungsvorgänge, — der Zersetzungsgrad dieses Naßtorfes ist hierbei bestimmt vom Verwesungszustande des Humus bei Eintritt in die Vernässung bzw. Versumpfung, — Naßtorf kann sich demnach sowohl aus noch wenig zerteilten, ihre morphologische Struktur noch deutlich aufweisenden Pflanzenabfällen (Abb. 25 u. 26) zusammensetzen, als auch aus bereits weitgehend zerteilten humosen Substanzen bestehen, die dann einen großen koprogonen Anteil besitzen (Abb. 23 u. 24), — tritt also der Humus im Grobmoderstadium in die Naßtorfbildung ein, dann entsteht ein faseriger, mehr oder weniger zäh, torfartig zusammengebackener Naßtorf, der die morpho-

logische Struktur des Ausgangsmaterials noch deutlich aufweist und verhältnismäßig wenig koprogenen Humus besitzt, — wird der Humus im Stadium des Feinmoders von der Versumpfung bzw. Vernässung erfaßt, dann bildet sich ein kohlig-schmieriger, beim Trocknen stark schrumpfender Naßtorf mit großem koprogenen Anteil, — bis stark gedrosseltes aerobes Mikroleben bei Hervortreten anaerober Mikroorganismen, — bis starkes Zurücktreten der Fadenpilze, — Regenwürmer fehlen oder sie sind auf ein unbedeutendes Maß zurückgedrängt, — bis reichliches Vorkommen von Protozoenzysten, — in weniger extremen Fällen noch immer nennenswertes Auftreten von Arthropoden, im besonderen von Springschwänzen und Hornmilben, die bis in die Bleichzone des Oberbodens eindringen, — bei Sphagnumtorf nur mehr wenig Arthropoden und Fadenpilze, — deutliche Abgrenzung der Naßtorfschicht gegen den mineralischen Oberboden, von dem sich der Auflagehumus leicht in Stücken abheben läßt, — dem Naßtorf beigemengtes minerogenes Bodenskelett ist vollkommen nackt, die Mineralkörnchen (vornehmlich Quarz) erscheinen im Mikroauflichtbild glasklar, — mit abnehmendem Stau- und Grundwassereinfluß bis zum Extrem zunehmende Auswaschung der Zerfallsprodukte, — stark bis vollständig zurücktretender Verlagerungseinfluß durch Bodentiere, — bis ansehnliche Mächtigkeit des Auflagehumushorizontes bei mehr oder weniger deutlicher Abgrenzung der Naßtorf-(Versumpfungs)-Zone nach oben und unten, — die Fruchtbarkeit des Naßtorfs fällt mit seinem koprogenen Anteil und erreicht im Sphagnumtorf ihr Minimum, — beim Sphagnumtorf besitzt nur die oberste, lebende Moosdecke einen noch nennenswerten Gehalt an Basen und, wie ich feststellen konnte, auch an Phosphorsäure, — diese Nährstoffe bleiben aber im Torfmoos biologisch gebunden und besitzen deshalb für die Ernährung des Waldes, der hier langgestreckte, wenig verzweigte, peitschenartige Hungerwurzeln aussendet, keine Bedeutung, — entsprechend der bodenklimatischen Eigenart dieser Standorte nimmt der Tätigkeitsgrad beim Auflagenaßtorf im allgemeinen nach unten ab, beim Auflagetrockentorf hingegen zu, weil sich im letztgenannten Falle die Wasserfrage mit zunehmender Bodentiefe günstiger gestaltet, — dieser häuptsächliche, pflanzenbaulich hochwichtige Unterschied zwischen diesen beiden Auflagetorfformen wurde bisher bodenkundlich nicht entsprechend herausgestellt und im besonderen waldbautechnisch nicht im notwendigen Maße berücksichtigt, — zwischen Auflagenaßtorf und Auflagetrockentorf ist deshalb auch aus ökologischen und damit aus wirtschaftlichen Gründen wohl zu unterscheiden.

b) Milder Auflagenaßtorf.

Charakteristik: Kalk und Salze genügend bis im Überschuß vorhanden, — ausreichender bis hoher Kationengehalt, — starke Pufferwirkung vor allem durch gelöstes Kalziumbikarbonat, — gute Humusabsättigung, — kein Humussolangriff, — schwach saure bis alkalische Reaktion, — infolge Vernässung bzw. Versumpfung des Auflagehumushorizontes nach unten zunehmender Sauerstoffmangel, — daher nur in der oberen Zone des Humushorizontes (Oxydationszone) lebhafte mikrobielle und koprogene Humusbildung mit Einschluß von Regenwurmtätigkeit, — Fadenpilze und Protozoenzysten fehlen, — mit nach unten zunehmendem Sauerstoffmangel fortschreitende Abnahme im Verwesungsfortgang und Humusabbau, — örtliches Auftreten von Fäulnisprozessen bedingt durch weitgehende Verminderung der Basenwirkung durch starke Zufuhr von Niederschlagswasser oder von weichem Oberflächenwasser und durch Sauerstoffmangel, — damit Einsetzen des gehemmten bis teilweise unterbundenen Verwesungsfortganges und Humus-

abbaus, — in die Versumpfungszone bzw. Vernässungszone eingebrachte Rottesubstanz behält dadurch weitgehend ihre morphologische Struktur (Abb. 21), — diese unzersetzten oder wenig zersetzten Pflanzenreste sind in eine humusreiche, mergelige (kalkreiche) Grundsubstanz (Schlammpackung) eingebettet, die aus in der Regel weitgehend aufgeschlemmten Kotteilchen, im besonderen von Regenwürmern, hervorgegangen ist (Abb. 21 u. 22), — Form und Zusammensetzung der Losungsteilchen sind in der Regel auch im Dünnschliff nicht mehr feststellbar, — Glühprobe ergibt nennenswerten Rückstand an eisenreichem mergeligem Ton, — Bodenmikroskelett ist film- und hüllenfrei, — ansehnlicher Verlagerungseinfluß durch Bodentiere, im besonderen durch Regenwürmer.

IV. Waldmoorhumus oder Gyttje.

Ramann bezeichnet unter Wasser gebildeten Schlamm, der in der Hauptmasse aus Tierkot besteht, als Gyttje. Es handelt sich also hier um eine mit Resten höherer und niederer Pflanzen (Algen, Diatomeen) durchsetzte, humose, schlammige, tiefbraune Masse, die unter Wasser durch Einwirkung der hier lebenden, in der Regel zahl- und artenreichen Organismen gebildet wird.

Der Waldmoorhumus oder die Gyttje ist demnach eine biologisch durchaus tätige Ablagerung, die aus einem Gemisch von organischen und anorganischen Substanzen im wechselnden Mengenverhältnis besteht. Gyttjebildung setzt sauerstoffhaltiges Wasser und eine mehr oder weniger lebhafte koprogene Humusbildung durch vornehmlich Wassertiere voraus. Regenwürmer fehlen oder sie sind auf die Randgebiete des Waldmoors beschränkt.

Bei lebhaftem Verwesungsfortgang kommt es zur Bildung einer fast homogenen schlammigen Masse, die vornehmlich aus braunen, in ihrer Form meist gut erhaltenen Kleintierlosungen besteht und von unzersetzten oder wenig zersetzten Pflanzenresten durchzogen, sowie von blanken Mineralkörnchen und Mineralsplitterchen mehr oder weniger durchsetzt ist (Abb. 27). Örtlich sind auch chemische Ausfällungen eingeschlossen. Mit nach unten zunehmendem Sauerstoffmangel kommt es zum gehemmten bis unterbundenen Humusabbau und damit zur Anhäufung feinzerteilter moorartiger Humusmassen (Waldmoor-Feinhumus).

Je nach dem Kalkgehalt kann man diese Humusform weiter unterteilen in:

1. sauren Waldmoorhumus oder saure Gyttje mit Kalkmangel und ausgesprochen saurem Reaktionsbereich (Abb. 27 u. 28) und
2. milden Waldmoorhumus oder milde Gyttje mit genügend Kalk und schwach saurem bis alkalischem Reaktionsbereich.

Während der saure Waldmoorhumus ohne vorhergegangene Entwässerung des Standortes im allgemeinen einen nur mäßigen Nährboden für den Wald abgibt, zählen die milden Waldmoorböden zu den wüchsigen Waldstandorten, wie die natürlichen Erlenbrücher und die Pappel-Erlen-Weiden-Sumpfwälder beweisen. Durch vorsichtige Entwässerung gehen diese Waldböden in anmoorige Mullwaldböden von im allgemeinen hoher Produktivität über.

Wenn wir die im Sol- und Gelzustand auftretenden Humusformen noch hinzufügen, so können wir demnach zusammenfassend folgende hauptsächlichen Humusformen des Waldes unterscheiden:

I. Mull (Feinmull und Krümelmull),
1. kalkreicher Mull oder Kalkmull,
a) Humuskarbonat-Mull, Rendzina oder Fleinserde
b) kalkreicher Schwarzerde-Mull
c) kalkreicher Moorerde-Mull
d) kalkreicher brauner Mull
2. salzreicher Mull oder Salzmull
3. milder Mull
4. saurer Mull (Alpenmull, saurer podsol. Mull, saurer rotbrauner [eisenschüssiger] Mull)
II. Moder
1. Grobmoder
2. Feinmoder (Alpenmoder)
III. Auflagetorf
1. Auflagetrockentorf
a) saurer Auflagetrockentorf (Heidetrockentorf)
b) milder Auflagetrockentorf (Kalk- bzw. Steppen-Heidetorf)
2. Auflagenaßtorf
a) saurer Auflagenaßtorf (Wald-Sphagnumtorf)
b) milder Auflagenaßtorf
IV. Waldmoorhumus oder Gyttje
1. saurer Waldmoorhumus oder saure Gyttje
2. milder Waldmoorhumus oder milde Gyttje
V. Humussol und dessen Eintrocknungs- bzw. Ausfällungsablagerungen
VI. Humusgel und dessen Eintrocknungsablagerungen.

Für die Bodenhumusformen unter Moder und Auflagetorf ergeben sich sinngemäß folgende Bezeichnungen: unter Moder als Auflagehumus die M o d e r e r d e, unter mullartigem Moder die m u l l a r t i g e M o d e r e r d e und unter Auflagetorf die T o r f e r d e.

Abschließend soll noch eine Umschreibung des sowohl in der Bodenkunde als auch in der Forstwirtschaft und Forstwissenschaft vielfach gebrauchten Begriffes „R o h h u m u s" versucht werden. Nach deutschem Sprachgebrauch kann wohl unter Rohhumus nur ein Humus im noch rohen Zustande verstanden werden. Es kann sich also nur um einen weitgehenden Begriff handeln. In diesem Sinne gehört zum R o h h u m u s jeder Auflage- und Bodenhumus, der den morphologischen Aufbau seiner organischen Ausgangssubstanz noch ganz oder teilweise erkennen läßt. Hingegen erscheint der Ausdruck R o h h u m u s für die Bezeichnung einer besonderen Form oder Gruppe roher Humussubstanz nicht geeignet. Die trotzdem im Schrifttum immer wieder aufscheinenden Versuche, mit Rohhumus bestimmte Zustandsformen des rohen, also morphologisch noch nicht oder nicht vollständig zerfallenen Humus zu bezeichnen, haben, wie bereits eingangs herausgestellt wurde, nur zur weiteren Verwirrung auf diesem Gebiete geführt. —

Die hier entwickelte Bezeichnung, Umgrenzung bzw. Umschreibung und Einordnung der hauptsächlichsten Humusformen des Waldes fußt im wesentlichen auf den naturgesetzlichen Voraussetzungen für Humusbildung und auf der ökologischen Eigenart der einzelnen Humusformen. Es wurden also jene Einteilungsgründe besonders herausgestellt, die gegenüber anderen Gesichtspunkten sowohl vom Standpunkte der Wissenschaft als auch der Wirtschaft zweifelsohne hervorstechen. Zieht man die weitgehende Unter-

schiedlichkeit der hier schlagwortartig beschriebenen und in ein System gebrachten Humusformen in Betracht, so wird ohne weiters klar, daß der grundsätzlichen Auseinanderhaltung dieser Humusformen für die Pflanzenbautechnik größte Bedeutung zukommt. Dies gilt im besonderen für die Forstwirtschaft und hier vor allem für die Verjüngungstechnik im Walde, weil sich die Humusformation eines Waldstandortes vielfach aus mehreren Humusformen zusammensetzt, die dann bestimmend sind für die ökologische Eigenart des betreffenden Humusprofils und damit des ganzen Standortes. Diese Tatsache erschwert die richtige waldbautechnische Behandlung solcher Standorte und fordert deshalb in erhöhtem Maße die möglichst gründliche Kenntnis und richtige waldbauliche Einschätzung der einzelnen Humusformen als Bausteine des naturgesetzlich bedingten Humusprofiltyps solcher Standorte.

Über die ökologische Eigenart, Benennung und systematische Einordnung der charakteristischen Humusprofiltypen bzw. Humustypen unseres Waldes wird im Rahmen einer anderen Arbeit berichtet werden.